

AZ EÖTVÖS KÍSÉRLET

TÖRTÉNELMI KERETBEN

Szerkesztette
Kilényi Éva



Unicus Műhely
Budapest • 2019

A kötet megjelenését támogatták:



AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROGRAM



Szerkesztés © Kilényi Éva, 2019
© Unicus Műhely, 2019

Szerkesztette:
Kilényi Éva

ISBN 978-615-5084-70-6

A kiadásért felel a MÁG Bt. ügyvezetője
1135 Budapest, Tahi u. 98.

Tel.: 70/361-3732

E-mail: unicusmuhely@gmail.com

Honlap: www.unicusmuhely.iwk.hu

Nyomdai előkészítés, borító
Zalán Attila

Nyomta és kötötte: Séd Kft., Szekszárd
Felelős vezető: Dránovits Anna
www.sednyomda.hu

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó: A történelmi keret <i>Ephraim Fischbach és Szabó Zoltán</i>	7
A Föld vonzása különböző anyagokra <i>Eötvös Loránd</i>	25
A Beneke Alapítvány értékelése.....	27
A Beneke Alapítvány értékelésének eredeti dokumentuma	31
Adalékok a tehetetlenség és a gravitáció arányosságának törvényéhez <i>Eötvös Loránd, Pekár Dezső és Fekete Jenő</i>	35
Eötvös Loránd eredeti, német nyelvű fogalmazványa (digitális képkorrekció után).....	99
Az Eötvös-kézirat átirata <i>Dávid Gábor</i>	193
Az Einstein–Eötvös levelezés.....	225
Köszönetnyilvánítás.....	232



Eötvös Loránd

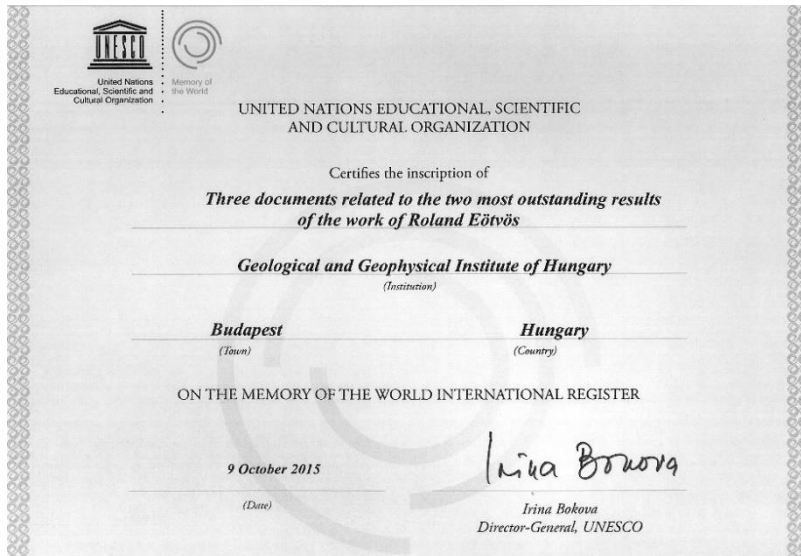
1848–1919

ELŐSZÓ: A TÖRTÉNELMI HÁTTÉR

Ephraim Fischbach
*Department of Physics and Astronomy, Purdue University,
West Lafayette, IN 47907 USA*

Szabó Zoltán
*Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány, MBFSz
1145 Budapest, Columbus u. 17–23.*

Eötvös Loránd halálának századik évfordulójáról megemlékezve az Eötvös-hagyaték gondozására alakult Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány kuratóriuma elhatározta, hogy egy kötettel tiszteleg névadója emlékére. A közelmúlt eseményei segítettek a témaválasztásban: az UNESCO, 1. ábraként bemutatott oklevele szerint, 2015-ben kulturális világörökségnek nyilvánított Eötvös névéhez kapcsolódó három dokumentumot, köztük a legfontosabbat, *Adalékok a tehetetlenség és a gravitáció arányosságának törvényéhez* című világhírű tanulmányának – sokáig elveszítettnek hitt – német nyelvű, kéziratos fogalmazványát. Ez a tanulmány eredetileg a Göttingeni Egyetem Beneke pályázatára készült 1909-ben, és csak Eötvös halála után publikálták munkatársai ugyancsak németül [Eötvös – Pekár – Fekete 1922].



1. ábra

Mielőtt belekezdünk e máig tartó jelentőségű tanulmány történetébe, szólnunk kell néhány szót Eötvös Loránd kiemelkedő személyiségéről. Kortársa, a kiváló filozófus, Alexander Bernát így emlékezett róla: „Hogyan találjak szavakat és kifejezéseket, amelyek az olvasóval megértetnék e férfiú lényegét, aki olyan átlátszó, mint egy hegyi patak és egyben olyan kevésbé ismert is, mint a hegyi patakok... Olyan ő a tudósok körében, mintha a királyunk lenne. ... Ő sokkal több a nagy tudósnál: ő nagy ember!” [Selényi 1953]

A specializáció jelen világából visszatekintve Eötvös úgy tekinthető, mint a klasszikus fizika utolsó tagja, aki egyesítette a tudományos kutatás teljességét, kiindulva alapkutatási problémából, mint a Föld alakjának meghatározása, folytatva egy műszer alapelvének kidolgozásával, a műszer megszerkesztésével és – Süss Nándor finommechanikus konstruktőr

segítségével – a műszer, a nevét viselő Eötvös-inga létrehozásával, folyamatos továbbfejlesztésével és annak felhasználásával olyan alapkutatói probléma megoldására, mint a tehetetlenség és gravitáció arányosságának vizsgálata.

Vizsgálatai eredményeiről 1889 januárjában számolt be a Magyar Tudományos Akadémia közgyűlésén *A föld vonzása különböző anyagokra* címen, melyet az Akadémia németül és magyarul publikált [Eötvös 1890]. Ez az első dokumentum, melyet kötetünkben közreadunk. Ebben a cikkben nem részletezi a mérés körülményeit, ábrát sem közöl, csak végkövetkeztetésként megállapítja: „*Bátran állíthatok annyit, hogy ha egyáltalán van különbség a különböző anyagú, de egyenlő tömegű testek nehézségei között, úgy ez a különbség a sárgaréz, üveg, antimonit és parafára vonatkozólag egy húszmilliomodnál, sárgaréz és levegőre vonatkozólag pedig egy százezrednél bizonyára kisebb.*”

E rövid közlemény jelentősége felbecsülhető abból a tényből, hogy az 1906-ban, a Göttingeni Királyi Tudományos Társaság Beneke alapítványa által meghirdetett, 1909-re vonatkozó pályázati téma-meghatározása Eötvös eredményeire hivatkozik. Sajnos a Göttingeni Karl August Egyetem archívumában nem sikerült megtalálni az eredeti pályázati felhívást, de az Eötvös által „*Ars longa, vita brevis*” jeligével benyújtott pályamű értékelésében – melyet eredeti formában és magyar fordításban is közlünk kötetünkben – az értékelést és javaslatot megfogalmazó C. Runge, a Filozófiai Kar dékánja, idézi a pályázati kiírásnak szóban forgó szakaszát.

Ez a pályázati felhívás készítette Eötvöst, hogy 1906-ban megindítson egy hosszú észlelési sorozatot az 1889 óta jelentősen továbbfejlesztett torziós ingájával. Az észlelések jelentős részét munkatársai: Pekár Dezső és Fekete Jenő végezte, Eötvös irányítása mellett. A fentebb idézett jeligével benyújtott dolgozatot Eötvös fogalmazta. A latin közmondás fölött medítálva kifejezi elégedetlenségét eredményei pontosságát illetően. Felvetődik a kérdés, miért nem folytatta vizsgálatait, hogy jobb eredményekre jusson? Még több mint 10 év volt hátra életéből! Abból a tényből kiindulva, hogy nem publikálta eredményeit, arra következtethetünk, hogy szándékában volt folytatni a mérőssorozatot.

Ahogy a következőkben bemutatjuk, a mérési eredmények között akad néhány, az elvárt zero eredménytől oly mértékben eltérő adat, amely komoly aggályokat vetett fel Eötvösben. Pl. a víz–réz összehasonlítás négyzetes középhibája 5 szigma, semmiképpen sem elhanyagolható. Feltételezhetjük, hogy Einstein 1915-ben megjelentetett általános relativitás-elmélete további motivációt jelentett Eötvös számára, hogy méréseit megismételje. Mint közismert, ez a tehetetlen és súlyos tömeg azonosságán alapul (ekvivalencia elv), vagyis pontosan az, amelyet Eötvösék kísérletsorozata vizsgált. Bár az általános relativitás-elmélet érvényességét igazoló híres Eddington kísérletet (csillagok fényének elhajlása napfogyatkozás idején) csak Eötvös halála után végezték, az általános relativitás-elmélet már jelentős megerősítést nyert a Merkúr anomális Napközeli precessziójának előrejelzésével. Mi több, Einstein elküldte Eötvösnek elmélete ismertetését tartalmazó önálló kiadványát (lásd Einstein–Eötvös levelezés) semmi kétséget nem hagyva, hogy Eötvös tudatában volt kísérletei jelentőségének az általános relativitás-elmélet szempontjából.

Bármilyen volt Eötvös elgondolása eredményeik nemzetközi kiadványban történő publikálásával kapcsolatban, ez a késedelem megfosztotta az őt megillető elsőbbségtől a torziós inga alkalmazása terén, ahogy az interneten található táblázatokból kiderül. Nem hivatkoznak sem az Akadémiai Értesítőben (vagy ennek német nyelvű változatában) megjelent 1890-es cikkekre, sem a Göttingeni Egyetem folyóiratában 1909-ben megjelent értékelésre. És nem csak azért kiemelkedők ezek az eredmények, mert három- illetve négy nagyságrenddel meghaladták az időben őt megelőző Bessel-féle mérések pontosságát, hanem mert ő volt az első, aki átlátta, hogy az időmérés pontosságát technikai okokból kifolyólag nem tudja fokozni, a torziós inga szögkitérését viszont tükrök alkalmazásával fel tudja

nagyítani. Talán nem érdektelen idézni R. H. Dicke [1961] megjegyzését az időmérés pontossági kívánalmairól: „Ahhoz, hogy megismételjük Eötvös pontosságát súlyejtés módszerével a pisai ferdetoronnyhoz hasonló magasságú vákuum-kamrában, a másodperc százmilliomod részének pontosságával kellene megmérnünk a súly esésének időtartamát.” A világnak közel 60 évet kellett várnia, hogy az Eötvös által elért pontosságot meghaladó kísérleteikben a fizikusok a torziós ingától eltérő elven működő eljárást alkalmazzanak, felfegyverkezve a modern elektronika lehetőségeivel.

Eötvös elsődleges célja a gravitációs tér horizontális változásainak meghatározására alkalmas eszköz kifejlesztésével a kor egyik legfontosabb problémájának, a Föld alakjának meghatározásához kapcsolódott. Már 1878-ban, a Magyar Királyi Természettudományos Társulat választmányi ülésén – melyen az illetékes szakbizottságok jelentései alapján megvitatták a soros pályázatok kérdését – Eötvös gravitációs mérésekre vonatkozó javaslatát elfogadva megállapították, hogy: *...házáinkban a gravitációra nézve még egyetlen adatunk sincs, úgy hogy az oktatásnál is mindig külföldi mérésekre kell hivatkoznunk. Ezért az aynlattevő báró Eötvös Loránd egyetemi tanár úr felkérendő volna, fordítsa figyelmét egyelőre csak Budapesten, majd az Alföldön és a Szepesi Kárpátokban a nehézségi gyorsulás megállapítására.* A téma megvalósítására 800 forintot tűzött ki a bizottság. A választmány a szakbizottsági ajánlást jóváhagyta és a 800 forintnyi díj odaítélése mellett megbízta Eötvöst a szükséges vizsgálatok elvégzésével. 1879-ben 400 forintot előlegként ki is utaltak, de ezt további 100 forinttal megtoldva, 1880-ban Eötvös megfelelő, mérésre alkalmas műszerek és helyiségek hiányára hivatkozva visszafizette.

Eötvöst azonban nem hagyta nyugodni a Természettudományi Társulat pályázatának kudarca, figyelme az 1880-as évek második felében egyre inkább a gravitáció és a Föld alakjának vizsgálata felé fordult. Az elméleti földalak – a geoid – per definitionem a nyugalomban lévő tengerszinttel azonos, melyet a kontinensek területére is extrapolálnak. Miután a nyugalomban lévő vízfelület alakját a Föld nehézségi erőtere határozza meg, a földalak meghatározása visszavezethető a Föld nehézségi erőterének vizsgálatára. Elméleti vizsgálatai során kimutatta, hogy a Coulomb-féle inga a nehézségi erőter potenciálfelületének alakváltozásaira érzékeny. Megfelelő mérési eljárással – az ingát ugyanazon mérési ponton három, egymástól 120 fokkal eltérő irányba állítva megismételve az észlelést – meghatározható a felület gömbalaktól való eltérésének iránya és nagysága. Elméleti vizsgálatait követően 1891-ben Süss Nándor közreműködésével elkészítette az általa görbületi variométernek nevezett eszközt, majd a horizontális variométert a tulajdonképpeni Eötvös-ingát, mely a görbületi adatokon kívül a nehézségi erőter horizontális irányú változásának mérésére is alkalmas.

Eötvös, ingájával először 1900-ban lépett a nemzetközi tudományos élet nagy nyilvánossága elé, amikor a párizsi nemzetközi fizikus kongresszuson ismertette a műszer elméletét, felépítését, működési elvét és beszámolt addigi mérési eredményeiről. Beszámolóját bizonyos kétkedéssel fogadták, különösen terepi méréseinek megbízhatóságát illetően. Kétségtelen, hogy abban az időben még kevés mérési adat állt rendelkezésére mivel terepen végzett méréseinek száma nem haladta meg a tízet [Eötvös 1900].

1906. szeptember 20–28-a között Budapesten tartotta XV. konferenciáját az Internationale Erdmessung, az IUGS elődje. Ez kiváló lehetőséget biztosított Eötvös számára, hogy a téma legjobb szakemberei előtt ismertesse a földalakkal kapcsolatos legújabb kutatási eredményeit. A konferenciát gróf Apponyi Albert kultuszminiszter nyitotta meg, alsóberzeviczi és kakaslomniczi Berzeviczy Albert, a Magyar Tudományos Akadémia elnökének jelenlétében.

Eötvös előadására az Akadémia nagytermében került sor, az ülésen a francia M. L. Bassot generális elnökölt. Eötvös feszült figyelem közepette emelkedett szólásra. Előadását francia nyelven kezdte, majd németül folytatta, mivel ebben lényegesen járatosabb volt. Az Arad környéki mérésekre alapozott előadását szemmel láthatólag egyre fokozódó érdeklődés, sőt csodálkozás kísérte. Midőn előadását befejezte, az elnök felkérésére a németül nem jól értő résztvevők kedvéért az egészet még egyszer, francia nyelven is meg kellett ismételnie. A hallgatóság F. R. Helmerttel, a porosz Királyi Geodéziai Intézet nemzetközi elismertségnek örvendő igazgatójával az élen, csodálattal vegyes kétkedéssel hallgatta a nagypontosságú mérésekről szóló beszámolót. Másnap az értekezlet résztvevői – köztük H. Poincaré a francia Akadémia elnöke, a „matematikusok fejedelme” – az egyetemi fizikai intézetben megtekintették a műszereket. Eötvös, megragadván az alkalmat, a hét végére meghívta a társaságot Aradra, hogy a helyszínen győződjenek meg terepi méréseinek pontosságáról és megbízhatóságáról [Szabó 2016].

A 10 tagú delegáció Sir George H. Darwin (Charles Darwin fia) vezetésével valóban megtekintette a terepi méréseket. A látottak minden kétkedőt meggyőztek. A látogatás sikerét csak növelte a Fehér Kereszt szállodában rendezett kitűnő vacsora. Budapestre visszatérve a kongresszus, Darwin javaslatára, hivatkozással a torziós-inga kísérletek nagy tudományos jelentőségére, kéréssel fordult a magyar kormányhoz, hogy anyagilag támogassa Eötvös gravitációs kísérleteit [Szabó 2016]. A kormány megértéssel fogadta a külföldi kutatók javaslatát. A kongresszusi beadvány hatására Apponyi Albert, vallás- és közoktatásügyi miniszter október 22-én az alábbi levelet intézte Eötvöshöz:

Nagyméltóságú Bárá Úr!

A Nemzetközi Földmérési Szövetség f. év szept. havában Budapesten lefolyt XV. Általános értekezletének tárgyalásaiból, jelesen a szept. 28-iki ülésben hozott határozati javaslatból értesülök arról, hogy a Szövetség kívánatosnak tartja a magyar kormány hathatós támogatását azoknak a vizsgálatoknak nagyobb mérvű kiterjesztésére, melyek a Nagyméltóságod által szerkesztett csavarási inga felhasználásával a földkéreg elhelyezkedésére vonatkozó kérdéseknek, s az ezzel kapcsolatos geológiai kérdéseknek megoldását célozzák, a mely módszert ugyanis a Szövetség e kérdések megoldására kiválóan alkalmasnak talált.

Tekintve azt a tudományos fontosságot, mely a magyar tudományosság ez újabb, a külföld élénk érdeklődésével találkozó termékéhez fűződik, de figyelemmel a gyakorlati fontosságra is, melyet ez ügynek a földkéreg eloszlásának megismerése folytán nemzetgazdasági szempontból tulajdonítanunk kell: készséggel engedek a nemzetközi óhaj nyilvánulásának, s őszinte örömmel teszem magamévá, hogy az ez irányban teendő kezdeményező lépések kormányhatósági megfontolás tárgyává tétessenek.

Tiszteletteljesen kérem Nagyméltóságodat, méltóztassék szíves tájékozódást nyújtani arra nézve, mily szerep várna az államra ennek az actionnak felkarolásában.

Fogadja Nagyméltóságod őszinte tiszteletem nyilvánítását.

Eötvös a miniszteri felkérésre részletes tájékoztatást nyújtott további kutatási terveiről, a beszerzendő új műszerekről és expedíciós felszerelésről, valamint ezek költségeiről. A kultuszminiszter 1907. május 15-én kelt 28762/907 sz. rendeletében örömmel tudatja, hogy a: „Nagyméltóságod által felhozottak fontosságának tudatában, s figyelemmel a külföld megtisztelő óhaj nyilvánítására is, a minisztertanács készséggel hozzájárult ahhoz, hogy Nagyméltóságod részére, a folyó 1907 évre, említett vizsgálódásai támogatásául 60 000 azaz hatvanezer korona államsegély engedélyeztessék. – A pénzügyminiszter úrral pedig egyetértőleg és közösen gondoskodtam aziránt, hogy a jövő 1908 és 1909 évekre ugyancsak évi 60 000 azaz hatvanezer korona a mondott célra államköltségvetésileg előirányoztassék ...

Végül van szerencsém Nagyméltóságodat tiszteletteljesen felkérni, hogy vállalkozásának tudományos eredményéről majdan nekem is beszámolni, s arra is módot találni méltóztassék, hogy arról a külföld illetékes körei is kellő tájékoztatást nyerjenek. Óhajtom s remélem, hogy Nagyméltóságod eme munkásságával a magyar tudományosságnak örök dicsőséget arat....” A kiutalt államsegély nagyságára következtethetünk abból, hogy Eötvös Fizikai Intézetének akkori évi dologi költségkerete csupán 4000 korona volt.

Ez az állami költségvetésbe „báró Eötvös Loránd csavarási inga kísérletek támogatására” cím alatt felvett államsegély, melyet az egyetemi Fizikai Intézet költségvetésétől szigorúan elkülönítve kellett kezelni, tette lehetővé Eötvös későbbi sikeres kutatásait, köztük a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságának vizsgálatát. Ez a kultuszminiszeri döntés alapozta meg a halála után Eötvös Lorándról elnevezett Geofizikai Intézetet ahová – az Eötvös-ingák kőolajkutatás terén szerzett világhírének köszönhetően – az 1920-as években a kőolajkutató geofizikusok Mekkájaként a világ minden részéből áramlottak a szakemberek a műszer elméletének és mérési gyakorlatának megismerése és – nem utolsósorban – ingavásárlás céljából.¹

Albert Einstein 1907-ben terjesztette elő ekvivalenciaelvét, amelynek alapján később általános relativitáselmélete és a gravitáció geometriai interpretációja megszületett. Az, hogy szabadon eső liftben és gravitációmentes térben végzett nem-gravitációs kísérletek bizonyos megszorításokkal mindig ugyanarra az eredményre vezetnek, feltételezi a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságát, de annál szélesebb jelenséggörre terjed ki. Einstein visszaemlékezései szerint az ekvivalenciaelv megfogalmazásakor nem volt tudatában Eötvös eredményeinek, a kétféle tömeg azonossága inkább evidenciaként, intuitív igazságként élt tudatában. Elvileg tudhatott volna Eötvös 1889-es eredményeiről, amelyek az összes addigi mérések közül messze a legpontosabbak voltak.

Einstein érdeklődése valószínűleg csak néhány évvel később fordult az ekvivalenciaelv kísérleti igazolása felé, amikor a gravitáció relativisztikus elméletével kapcsolatos vitákban felmerült az a kérdés, hogy a radioaktív bomlásnál felszabaduló energiára is érvényes-e a tehetetlen és súlyos tömeg arányossága. Einstein e kérdés kapcsán 1912-ben levélben fordult az 1911-ben Nobel-díjat nyert *Willi Wien*hez, először ingaméréseket javasolva uránból és ólomból készült ingák lengésidejének összehasonlítására, és azt kérdezte, hogy Wien szerint elérhető-e ezekkel a szükséges pontosság [Illy 1989]. Majd új ötletként felvetette, hogy közönséges ingák helyett torziósingával pontosabban elvégezhető lenne a mérés, és szinte szóról szóra felvázolta a korai Eötvös-kísérletek koncepcióját, sőt "ötletét" a görbületi variométer vázlatos rajzával is illusztrálta. Még azt is felvetette, hogy Wien ezt a fontos kísérletet (*experimentum crucis*) végeztesse el laboratóriumában. Wien e levélre adott válasza nem került elő az Einstein-hagyatékából. Az viszont kétségtelen, hogy Einstein 1913-ban Marcel Grossmannnal közösen írt cikkében már hivatkozik a korai Eötvös-kísérletekre, azok pontosságát is megadva. Arról, hogy e régi kísérletekre és a hivatkozott Eötvös-cikkekre Wien, Grossmann, vagy esetleg más hívta fel figyelmét, legfeljebb találgathatunk. Az viszont mindenképpen meglepő, hogy 1912-ben saját ötleteként éppen Eötvös zseniális módszerét

¹ A szerkesztő megjegyzése: Az 1970-es években, a British Council ösztöndíjának köszönhetően, lehetőségem volt angliai geofizikai vállalatok működésének tanulmányozására. Az egyikben egy középkorú, szakállas úriember kedvesen érdeklődött munkahelyem iránt. Közölésemre, hogy Eötvös Loránd Geofizikai Intézet, visszakérdezett: a *báró* Eötvös Loránd Geofizikai Intézet? Igenlő válaszom után lelkesedve mesélte el, hogy édesapja, James C. Templeton, mint az Anglo-Persian Oil Company geológusa, a 20-as években több hónapot töltött ott tanulmányozandó az Eötvös-inga használatát. Hazatérve megalapította az International Prospecting Co-t, majd később a British Geophysical Agency-t, és jelentős szerepe volt a magyar gyártmányú Eötvös-ingák népszerűsítésének világszerte.

javasolta, és felvetődhet a gyanú, hogy Eötvös 1906–08-as méréseit valaki már korábban is említhette neki, de erről időközben elfelejtkezett. Eötvös más irányú tevékenységéről egyébként tudott, hiszen nem sokkal korábban közölt cikket a kapillaritás Eötvös-törvényéről.

F. R. Helmert, a potsdami Porosz Királyi Geodéziai Intézet igazgatójának halála után, az utód kijelölésére alakult bizottság nem tudott megegyezni egy névben. Ezért Einstein, aki a bizottságban az Akadémiát képviselte, 1918 januárjában tanácsot kért Eötvöstől az utódlás kérdésében. Eötvös részletes javaslata után Einstein viszontválaszában köszönetet mondott neki azokért a kutatásaiért is, amelyek során a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságát igazolta. Emellett elküldte neki könyvét, amelyben "e kérdés elméleti vonatkozásaival foglalkozik". Einstein azonnal továbbította Eötvös levelét a bizottságban a kormányzatot képviselő A. Krüss professzornak a következő megjegyzéssel: „...egy ilyen megkérdőjelezhetetlenül objektív és nagy szakmai tudással rendelkező ember javaslatát – véleményem szerint – nem lehet figyelmen kívül hagyni.” A bizottság egyetértve Einsteinel elfogadta Eötvös javaslatát. Az Einstein–Eötvös levelezés dokumentumait, melyek élénk varázsolják az első világháború előtti tudományos világ stílusát, kötetünk utolsó részében adjuk közzé.

Eötvös Loránd 1919. április 8-án halt meg egy veszített háborút, az Osztrák–Magyar Monarchia felbomlását, egy polgári forradalmat és egy kommunista hatalomátvételt követő zűrzavar közepette. Temetését nagy pompával rendezték meg: a Nemzeti Múzeum előcsarnokában ravatalozták fel, onnan, óriási tömeg kíséretében négy fekete ló vontatta gyászhintóban vitték a Fiumei úti temetőbe. A ravatalnál Lukács György, a közoktatásért felelős népbiztos, később neves filozófus tartotta a búcsúztatást, Eötvösről, mint a „proletariátus nagy halottjáról” emlékezve meg. A született arisztokrata, aki liberális demokrata világnézete ellenére nemesi címéhez mindig ragaszkodott, halálában – a történelem fricskájaként – proletár hőssé vált!

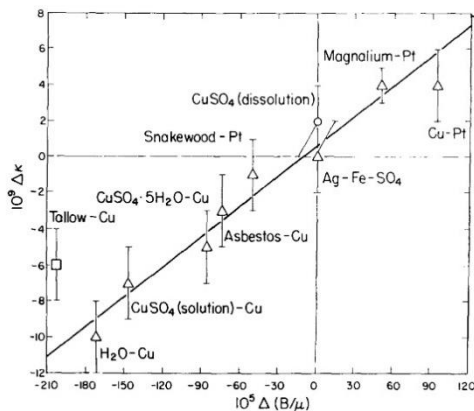
Eötvöst nem érdekelte a politika, ő a tudománynak élt. 1905-ben lemondott akadémiai elnökségéről is, hogy minden energiáját kitűzött kutatási céljaira összpontosíthassa. Már nagy betegen látogatóival a fizika legújabb eredményeiről, atomokról és elektronokról cserélt eszmét. Utolsó cikkét – *Experimenteller Nachweis der Schwereänderung, die ein auf normal geformter Erdoberfläche in östlicher oder westlicher Richtung bewegter Körper durch diese Bewegung erleidet* – halálos ágyán diktálta Pekár Dezsőnek, aki március 13-án postázta azt az *Annalen der Physik*-nek [Eötvös 1919] (magyarul *Kísérleti kimutatása annak a nehézségi változásnak, amelyet valamely, a szabályos alakúnak felvett földfelületen keleti, vagy nyugati irányban mozgó test e mozgás által elszenved* címen a Matematikai és Természettudományi Értesítőben 1920-ban jelent meg). Ez a téma O. Hecker tengeri gravitációs mérései kapcsán vetődött fel, és megoldja a fizika egyik alapproblémáját. A későbbiekben a jelenséget Eötvös-hatásnak, és az általa javasolt korrekciót Eötvös-korrekciónak nevezte el a tudományos világ.

Az 1906 és 1909 között végzett mérésorozatot leírását Eötvös munkatársai, Pekár Dezső és Fekete Jenő publikálta az *Annalen der Physik*-ben, 1922-ben, *Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität; von Roland v. Eötvös†, Desiderus Pekár und Eugen Fekete* címen. Ez a cikk magyarul sohasem jelent meg, ennek közlésével egy 100-éves mulasztást pótolunk!

A cikk összefoglalójában az élő szerzők a következőt írták: „...Az eredeti tanulmány terjedelme 10 nyomdai ív, emiatt szükségessé vált az értekezés nagymértékű rövidítése úgy, hogy a munka lehetőleg ne szenvedjen veszteséget eredeti tartalmához képest. Ennek megfelelően elsősorban megfigyelési adatokat tartalmazó táblázatok és a munka egészét nem befolyásoló részek maradtak ki.” Az eredeti Eötvös kézirat publikálásával éppen azt a kérdést

kívánjuk megvizsgálni, mennyi, a kísérleti mérések kivitelezésére vonatkozó információ veszett el a rövidítés által?

Az 1986-ban „Az Eötvös-kísérlet új értelmezése” címen megjelent cikk [Fischbach et al. 1986] világméretű érdeklődést keltett az Eötvös, Pekár és Fekete [EPF 1922] féle klasszikus kísérletsorozat iránt. E cikkben szerzők azt állítják, hogy a természetben jelen van egy új, „Ötödik Erőnek” nevezett, az egymásra ható mintákban lévő, barion számból (a protonok és neutronok összesített számából) eredő erő. Ha az Eötvös-kísérlet $\Delta\kappa$ adatait B/M (barionszám/tömeg) függvényében ábrázoljuk, pozitív korreláció ismerhető fel (2. ábra).



2. ábra. A $\Delta\kappa$ ábrázolása $\Delta(B/\mu)$ függvényében Fischbach et al (1988) 2. ábrája szerint, amely a Fischbach et al. (1986) cikk 1. ábrájának kibővített változata. $\Delta\kappa$ a fajlagos gyorsuláskülönbséget jelenti minden, EPF által mért minta-párra, míg $\Delta(B/\mu)$ a megfelelő barionszám/tömeg arány. μ minden minta tömegét fejezi ki a hidrogén m_H tömeg-egységében. További részletek az idézett cikkekből találhatók.

Fischbach és munkatársai arra a következtetésre jutottak, hogy a kiegyenlítő egyenes dőlése $(5,65 \pm 0,7) \cdot 10^{-6}$ az elvárt 0 értéktől jelentős négyzetes középhibával tér el. Ha a feltételezett ötödik erő valóban létezik kb. 100–1000 m hatótávolsággal, az anyagi összetételtől való függőség a közeli tömeg-elrendeződés hatásának következménye kell hogy legyen [Király 1987].

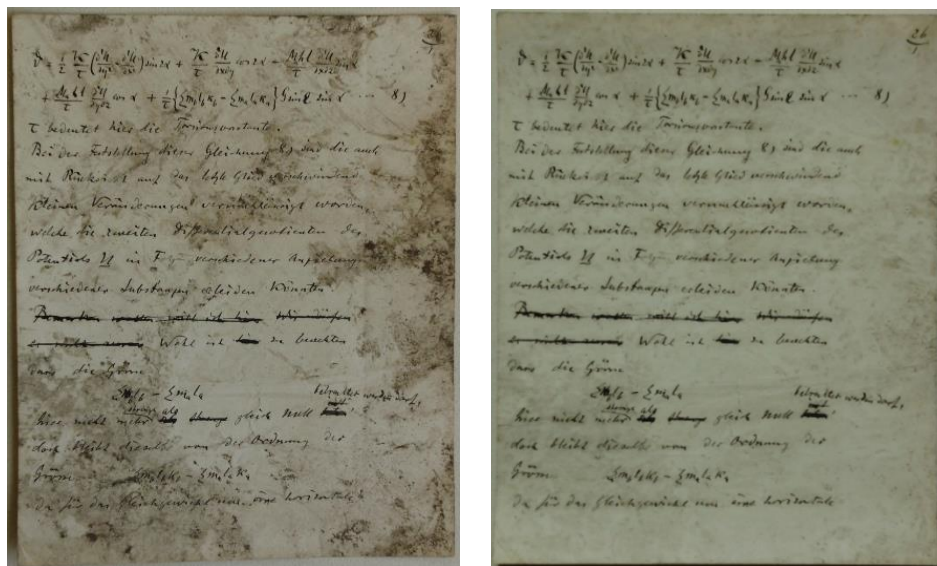
Mivel a szerzők számára az eredeti kísérletek legapróbb részletei is fontossá váltak, az Eötvös Loránd Geofizikai Intézethez fordultak, kérve az eredeti adatokat. A kérés nem tűnt nehezen teljesíthetőnek, hiszen Pekár Dezső minden adatot gondosan megőrzött és egy általa rendszeresített, megfelelő feliratokkal ellátott fiókszerű dobozokban tárolt. A tehetetlen és súlyos tömeg arányosságával kapcsolatos adatokat mégsem találtuk.

Az események megértéséhez célszerű áttekinteni az ELGI történetét. Eötvös halála után az Eötvös-inga terepi méréseket végző 15–20 fős kutatócsoport önállósodott Eötvös Loránd Geofizikai Intézet (ELGI) néven, de helyileg, a 2. Világháború végéig, továbbra is a ma már Eötvös nevét viselő egyetem Fizikai Intézetében működött. Amikor az 1948-ban uralomra jutott kommunista rendszer meghirdette, hogy Magyarország a vas és acél országa lesz, az ELGI fontossága és létszáma rohamléptekkel növekedni kezdett. 1954-re elérte a 250 főt, majd az 1970-es évek második felében meghaladta az 1000 főt. A rohamos létszámnövelés következtében állandósult a helyhiány. Az 1960-as évek közepén, amikor az egyes részlegek már Budapest 13 különböző pontján levő bérleményekben működtek, a szétszórtság nagy mértékben hátráltatta a kutatás koordinálását. Az 1960-as évek közepén végre megszületett a

kormányzati döntés egy intézeti székház felépítésére. A tervezés megkezdése és az épület elkészülte között eltelt öt év alatt tovább nőtt a létszám, minek következtében az 1970. évi beköltözkéskor az archív anyagok elhelyezésére már nem jutott hely, azokat különböző, ideálisnak nem mondható, bérelt raktárakban voltunk kénytelenek elhelyezni. A fiókszerűen egymásra helyezhető, elől nyíló speciális tárolódobozok, mint kiderült, nem voltak könnyen szállíthatók. A sokszáz doboz szállítása során a szállítómunkások gondatlansága következtében – a Beneke-pályázatra benyújtott Eötvös dokumentáció, az események utólagos rekonstrukciója szerint, valószínűleg kicsúszott a dobozából, szétszóródott a nedves kövezeten, a munkások rátapostak, majd egy lelkiismeretesebb munkás összeszedte a nedves lapokat és betette egy, a keze ügyébe kerülő, terepi Eötvös-inga mérések jegyzőkönyveit tartalmazó dobozba.

A 2000-es évek elején szóba került az Eötvös-inga mérési adatai felhasználásának lehetősége a geoid részletes vizsgálatára – bizonyítva a régi mondást: „A gravitációs adatok sohasem halnak meg!” 1901 és 1967 között ugyanis Magyarország

területének jelentős részén folytak 1–3 km állomásközi Eötvös-inga mérések. Ezek adatainak digitális adatbankba szervezése előkészítésének során került elő az eredeti Eötvös féle kézirat. Tekintettel annak megviselt állapotára (penészfoltok, és vizes cipőtalpaktól eredő nyomok), szükség volt a kézirat konzerválására és restaurálására, melyet az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány (ELGA) megrendelésére az Országos Széchényi Könyvtár restaurátorai végeztek (3. ábra).



3. ábra. Egy kéziratoldal tisztítás előtt és után

Ha figyelembe vesszük, hogy a tudományos eredmények publikálása után a kéziratok általában elvesztik további jelentőségüket, Pekár mindent megőrző gondosságán túl a pusztá szerencsének köszönhetjük, hogy bár kissé kalandos módon, de mégis megőrződött Eötvös eredeti kézírásos fogalmazványa.

Visszatérve az „Ötödik Erő” problémájához: mind a mai napig – kísérletek generációinak ellenére – nem sikerült egyértelmű bizonyítékot szerezni a Newtoni gravitációs elmélettől való eltérésre, ahogy azt az ötödik erő léte megkívánná. Ezen kísérletek ismertetése

és a mögöttük levő elképzelések a Fischbach et al. 1988 és Fischbach et al. 1999 publikációban megtalálható. Sok fizikus próbálkozott régi kísérletek új, érzékenyebb változatával, és terveztek újakat az ötödik erő jelenlétének kimutatására. Így lehetséges, hogy létezik más ötödik erő modell, amely meg tudja magyarázni az EPF kísérlet eredményeit, miközben helyt ad a jelenkori kísérletek zérus eredményének. Ezt a lehetőséget fenntartva ahhoz a kérdéshez jutunk el, hogy az EPF kísérletek valamilyen jelentéktelen vonása esetleg nem játszhat-e szerepet eredményeinek megmagyarázásában.

Az EPF publikáció kiindulópontját jelentő Eötvös-kézirat, azaz sajátkezűleg írt fogalmazványának megtalálása számos kérdésre vet fényt, és ezért igen nagy történelmi jelentőséggel bír. Annak ellenére, hogy a „Kézirat” jó néhány oldala hiányzik, megállapítható, hogy az átfedés a nyomtatott szöveggel igen jelentős, tehát érdekes és jelentőségteljes a kettő összehasonlítása. A különbségek két kategóriára oszthatók: A Kézirat tartalmaz több részletet, vagy fordítva, a nyomtatott szöveg. Az első típusba sorolhatók:

- A Kéziratban Eötvös részletesen tárgyalja Guyot 1836-os, a párizsi Pantheonban végzett kísérletét, mely a nyomtatott változathoz teljesen hiányzik. A kísérlet részletes leírása megtalálható: Fischbach et al. 1999, p. 127. Az erre szánt szöveg hosszából ítélve Eötvös számára nyilvánvalóan komoly jelentőséggel bírt ez a kísérlet. Bár Guyot az ólom függőön irányát összevetve a higany felületének normálisával zérustól eltérő eredményre jutott, Eötvös meggyőzte magát, hogy „ezt az egyenlőtlenül felmelegedett és mozgó levegő okozta nyomás váltja ki.” Feltételezhetjük, hogy a Guyot-kísérlet részletes analízise szerepet játszott Eötvös saját kísérleteinek megtervezésében. Eötvös következtetésének alátámasztására megjegyezzük, hogy ha feltételezzük az ötödik erő létezését, egy idealizált Guyot-kísérlet is zérus eredményt kell, hogy adjon, hiszen az ólom és a higany olyan közel esik egymáshoz a periódusos rendszerben, hogy B/μ értékeik különbsége kimutathatatlan egy ilyen kísérletben.
- A 2. fejezet, a (9) és (10) egyenletet követően, az árapály-keltő erők hatásait sokkal részletesebben taglalja, mint a nyomtatott változat.
- A 3. fejezetben Eötvös sokkal részletesebben tárgyalja a kísérletekben alkalmazott műszerek leírását, mint a publikáció. Mint már korábban is említettük, különös figyelmet érdemel a hőmérsékleti változások okozta hatások feletti aggodalma, amely még nagyobb jelentőséggel bír Fischbach et al. 1986-os publikációja fényében. Érdekes módon egyik változat sem említi a környezet hőmérséklet-ingadozásának ellenőrzésére szolgáló, a kísérleti eszközökhöz rögzített hőmérőket.
- Ugyanebben a részben Eötvös megjegyzi, hogy méréseikhez „*ablak nélküli pincehelyiség*” volna ideális, de ilyen lehetőség nem állt rendelkezésükre, „*így meg kellett elégednünk mérési helyszínként a rendelkezésünkre álló laboratórium két délre néző ablakkal bíró előterével.*” A mérési helyszín problémáját később tárgyaljuk.
- Ugyanebben a fejezetben a kézirat tárgyalja az Egyetem – laboratóriumához közel eső – C-épülete alapozási munkálatai keltette rezgéseket. Következtetése figyelemre méltó: „*Bár ezen zavaró hatások nem jelentek meg észrevehető módon mérési eredményeinkben, de nagyon is tudatában vagyunk annak, hogy az itt közzétett méréseket nem a legmegfelelőbb körülmények között végeztük, és úgy gondoljuk, nem ezek a műszerünkkel elérhető legjobb eredmények. Ennek ellenére: „Ars longa, vita brevis” – meg kell elégednünk azzal, hogy egy lépést tettünk előre.*”
- Az időkorlátokra több helyen is utal. A 8. fejezetben Eötvös a következőket írja: „*Ezeket a kísérleteket annak ellenére tesszük itt közzé, hogy csak előzetes*

vizsgálatoknak tekinthetők, és szeretnénk, hogy az olvasók is annak tekintenek. Nem volt ugyanis időnk számunkra teljesen kielégítő kísérletek végrehajtására, illetve a műszer tökéletesítésére.” A vissza-visszatérő utalás az idő rövidségére – nyilván a Beneke-pályázat határideje miatt – és a műszer tökéletesítése iránti igényére megmagyarázza, miért várt Eötvös eredményeinek publikálásával. Mindezt annak ellenére, hogy maga Eötvös kijelenti, hogy kísérleti eredményei a Bessel-féle adatokhoz képest egy 300-as faktorral javultak. Ez felveti a kérdést, ekkora javulás miért nem igazolja az eredmények közlését a kísérletsorozat befejezésekor, 1909-ben?

- Azt is érdemes megemlíteni, hogy a 9. *Radioaktív anyagokkal végzett kísérletek* c. fejezetben Eötvös maga írja le a mérések részleteit, ellentétben a korábbiakkal. Ez a momentum is Eötvös minden új kutatási eredmény iránti mohó érdeklődésére vet fényt. Radioaktív mintájának aktivitása 60 mC, a mai előírások szerint ennek kezelése már bizonyos védelmi intézkedéseket igényel, de Eötvös nem tesz említést semmi ilyesmiről. Nem is csoda, hiszen csak egy évtizede fedezték fel a radioaktivitás létét, annak hosszútávú egészségügyi hatásairól semmit se tudhattak. Az is lehetséges, hogy Eötvös tíz évvel későbbi halálát okozó rákbetegség innen eredeztethető.

A második típusba tartoznak a publikált szöveg azon részei, amelyek nem találhatók meg a kéziratban. Ezek is két kategóriára oszthatók: a) A kézirat néhány lapja elveszett. Ezek könnyen felismerhetők Eötvös oldalszámozásából, valamint a szöveg értelméből és mennyiségéből. b) Ettől eltérően, hosszú, összefüggő szövegrészek is hiányoznak a kéziratból, kezdve a 4. *Mérések és adatfeldolgozás konstans nehézségi erőter és τ érzékenység feltételezésén alapuló (I) eljárás szerint* c. fejezetnek a mérések leírását és eredményeit tartalmazó három teljes nyomtatott oldaltól. Az 5. *Mérések és adatfeldolgozás a (II) eljárás szerint* ...c. fejezet a kéziratban oldalszámozás nélkül kezdődik. A kézirat a második eljárás matematikai-fizikai alapjainak rövid ismertetése után leáll, elérkezve a több mint három nyomtatott oldalt kitevő, a mérések és eredményeik leírását tartalmazó részhez. Ez a rendszer ismétlődik a 6. fejezetben, nyolc nyomtatott oldal terjedelemben. Mindebből arra a következtetésre juthatunk, hogy Eötvös megírta az elméleti részeket, mielőtt a kísérletsorozatot befejezték volna (egy helyen még jövő időt is használ). A mérések kivitelezésének és az eredmények ismertetésének leírását ráhagyta munkatársaira, valószínűleg elsősorban Pekár Dezsőre. Miután a Beneke alapítványhoz benyújtott pályázati anyag nem lelhető fel a Göttingeni Egyetem archívumában, csak feltételezhetjük, hogy az hosszú táblázatokat tartalmazott a mérési eredményekkel, amelyeket azután tömörítve hoztak nyilvánosságra az 1922-es Eötvös–Pekár–Fekete cikkben.

A kéziratból hiányzó teljes 7. *A Nap vonzásához viszonyított ($\kappa - \kappa'$) különbség mérése a meridiánban* c. fejezet más kérdéseket vet fel. A 2. fejezetben Eötvös ezt írja: *Az ilyen, Eötvös-módszer szerinti kísérletek azonban csak egyetlen test, nevezetesen a Föld gravitációs vonzásáról adnak felvilágosítást. Mindenképpen érdemes megvizsgálni, hogy vajon a Nap és a Hold vonzóereje azáltal, hogy ezek hatásai ténylegesen érzékelhetők az árapály jelenségekben és a függőön irányváltásaiban, hozzájárulhat-e vagy sem kérdésünk tisztázásához. Egy rövid, elméleti megközelítéssel megpróbálunk választ adni az árapály jelenségek összetett kérdésére.* (Kézirat 27/23) A hatóerőket vizsgálva, Eötvös megállapítja: *Tételezzük fel, hogy a $-Z$ erő, nagysága századrésznyi pontossággal meghatározható az árapály jelenségekből, akkor a Nap árapály jelenségeinek megfigyelésével κ egyűthet 10^{-6} -nál nagyobb értékeit kapjuk meg, vagyis az egység egymilliomodnyi részeit. A Nap*

*vonzóerejéből fakadó, 24 órás árapály jelenség ennyire pontos megfigyelése azonban nehezen képzelhető el, mert nehezen különíthető el a Napsugárzás azonos periódusidővel jelentkező hatásaitól.*² (Kézirat 32/28)

A fenti szövegből egyértelműen kiderül, hogy Eötvös nem bízott a Nap vonzóerejének vizsgálatát célzó módszerrel elérhető pontosság elfogadhatóságában. Valószínűleg vitatta Pekár elképzelésének megvalósíthatóságát, de hozzájárult munkatársa véleményének kifejtéséhez egy önálló fejezet beiktatásával. Ez az érdekes momentum kettőjük kapcsolatára, illetve Eötvös jellemére vet fényt.

A harmincas évek elején Renner János megismételte az Eötvös-kísérletet. Méréseihez az Eötvös-kísérletben résztvevő kettős nagyesszköz időközben továbbfejlesztett változatát használta. Bevezetőjében [Renner 1935] a következőket írja: „...*kísérleti vizsgálataimnál Eötvös torzós-inga módszerét vettem alapul s a mérés pontosságának növelésére törekedtem. Lehetőleg olyan anyagokat vizsgáltam meg, amelyek Eötvös kísérleteinél nem fordultak elő, s amelyekhez az anyag belső szerkezetére vonatkozó elméletek szempontjából különösebb érdeklődés fűződik.*” Újítása: „*Eötvös módszerének kibővítésével, közbeiktatott állásokban való észlelés felhasználásával lehetővé vált ugyanazon anyagok esetén két egymástól független eredmény megállapítása...*” Állítása szerint „*a megvizsgált anyagok vonzási együtthatóinak eltérését és a középhibát*” az eötvösi eredményekhez képest egy nagyságrenddel megjavította. R. H. Dicke 1957-ben publikálta első cikkét a témában. 1961-ben a Scientific American-ben számolt be a Princeton Egyetemen, igen nagy költségráfor-dítással tervezett mérési elrendezéssel (kb. 4 m mély, külön erre a célra épített aknában elhelyezett, vákuum-kamrába zárt torziós ingával) végzett kísérleteiről. Renner, a cikket olvasva, úgy érezte, hogy Dicke méltánytalanul bírálta Eötvös kísérleti módszertanát, és levélben fordult hozzá, kérve az általa előadott cáfolatok közlését. Ez fordította Dicke és munkatársai figyelmét a Renner-kísérletre, akik erősen bírálták Renner hibaszámítási módszerét [Roll et al. 1964], többszöröse becsülve a négyzetes középhibát a Renner által megadotthoz képest. Nem érezzük hivatottnak magunkat a vita eldöntésében!

Foglalkozunk kicsit részletesebben a publikált Eötvös–Pekár–Fekete cikk 10. Összefoglalás c. fejezetével és főleg az ott található táblázattal, melynek szövege nem található Eötvös kéziratában. Ennek a táblázatnak a fontosságára már számos cikk rámutatott [Fischbach et al. 1986, Fischbach et al. 1988, Franklin and Fischbach 2016]. Kiemelték, hogy a gyorsulás-különbségeket mindegyik mintára (pl. a vízre) platínához viszonyítják, holott sokkal inkább réz szerepelt a tényleges mérésekben. A víz–platina összehasonlítást pl. a következőképpen képták:

$$(\kappa_{\text{víz}} - \kappa_{\text{Cu}}) + (\kappa_{\text{Cu}} - \kappa_{\text{Pt}}) = \kappa_{\text{víz}} - \kappa_{\text{Pt}}$$

$$(-10 \pm 2) \cdot 10^{-9} + (4 \pm 2) \cdot 10^{-9} = (-6 \pm \sqrt{2^2 + 2^2}) \cdot 10^{-9} = (-6 \pm 3) \cdot 10^{-9}$$

Az első egyenlet – az 5 σ eredményt produkáló $(\kappa_{\text{víz}} - \kappa_{\text{Cu}})$ mérés kombinálása a $(\kappa_{\text{Cu}} - \kappa_{\text{Pt}})$ méréssel – eredményezi a víz eltérésének 2 σ eredményét. Mivel ez a táblázat nem szerepel az Eötvös-féle kéziratban, arra következtethetünk, hogy munkatársai utólag arra törekedtek, hogy az akkoriban már sikeres Einstein-féle általános relativitás-elmélettel ne kerüljenek ellentmondásba. Ha ez volt a helyzet, nem csak az Eötvös kísérlet támasztotta alá az általános relativitás-elméletet, hanem fordítva is. De ha az Eötvös kísérlet eredményeit kritikusan szemléljük, jusson eszünkbe, amit Nieto Hughes és Goldman írt 1988-ban: „...*se a barion szám, se a tömegdefektus fogalma nem létezett akkoriban. Ezen fogalmak nélkül Eötvös*

² Valószínűleg a hőmérséklet-változás okozta deformációkra utal a szerző (Szerkesztő megjegyzése).

jelentős időt fordíthatott afölötti eredménytelen töprengésre, hogy vajon adatainak szórása miért nagyobb, mint a hibabecslése. Együtt érezhetünk vele és elképzelhetjük mardosó gondolatait, hogy valamit rosszul csinált, vagy valami nagyon fontos momentumot nem vett észre.” Talán ez a válasz korábban feltett kérdésünkre: miért nem publikálta Eötvös korának kiemelkedő kísérleti eredményeit még életében?

De térjünk vissza a mérések helyszínének kérdésére! A 48/40–48/43 kéziratoldalakon Eötvös a következőképpen írja le: *„Ilyen érzékeny műszer használatához rezgésmentes környezet szükséges, amit lehetőleg védeni kell a hőmérséklet-változásoktól és (Kézirat 46/41) különösen az egyirányú hősugárzástól. Ezek a feltételek leginkább ablak nélküli pincehelyiségekben teljesülnek. Sajnos ilyen nem állt rendelkezésünkre. Az idő sürgetett, így meg kellett elégednünk mérési helyszínként a rendelkezésünkre álló laboratórium két délre néző ablakkal bíró előterével. A szemben álló magas épület a nap nagy részében leárnyékolta ezeket az ablakokat, ahogy a redőnyök is, így a szoba mindig sötétben maradt. A teljeskörű védelem érdekében minden egyes műszer köré kis házikót emeltünk, két keretre feszített, (Kézirat 47/42) erős vászonból készült, finom fűrészporral kitöltött és lesteppelt fallal.*

Mivel a helyiség, ahol a megfigyeléseinket végeztük, az utcai közlekedéstől távol feküdt, kezdetben nem volt okunk zavaró rezgések miatti aggodalomra, sajnos azonban a feltételek elromlottak egy a mérés helyszínének közvetlen közelében kezdődő építkezés miatt. Bár ezen zavaró hatások nem jelentek meg észrevehető módon mérési eredményeinkben, de nagyon is tudatában vagyunk annak, hogy az itt közzétett méréseket nem a legmegfelelőbb körülmények között (Kézirat 48/43) végeztük, és úgy gondoljuk, nem ezek a műszerünkkel elérhető legjobb eredmények. Ennek ellenére: „Ars longa, vita brevis” – meg kell elégednünk azzal, hogy egy lépést tettünk előre.

Figyelemre méltó, hogy a nyomtatott szövegből mindkét bekezdést kihagyták. Ugyanakkor a kézirat 15/78. oldalán az 1902. évi abszorpciós kísérletek helyszínéről Eötvös a következőket írja: *„Műszerünk rögzített felállítása egy állandó hőmérsékletű pincében megfelelő védelmet biztosított kísérleteinkhez, ...”*

1890-es, „A Föld vonzása különböző anyagokra” c. publikációjában, mely kötetünk első dokumentuma, Eötvös a következőket írta kísérletei helyszínéről: *„Csak a fizikai intézet nyugodt pincéjében, éjjel és azáltal sikerült ez, hogy az egyensúlyi helyzeteket fotografáló eszközökkel határoztam meg.”*

Megválaszolhatatlan kérdés marad, miért adta fel korábbi ideális pince-laboratóriumát? Ő volt a Fizikai intézet professzora, nagyra becsült tudós, a Magyar Tudományos Akadémia nem rég lemondott elnöke, aki ideális laboratórium utáni törekvésében már 1895-ben (július hó 5-i dátummal) levéllel fordult a miniszterelnökhöz, javasolva az akkor épülő Parlament pincéjének laboratóriumi célú hasznosítását:

Nagyméltóságú Miniszterelnök Úr, Kegyelmes Uram!³

A most épülő országház pincesorának a kupola alatt fekvő része, melyet az ide mellékelte alaprajzon vörös határolás különböztet meg, az alatta elterülő betonréteg nagy vastagságainál, falainak óriási méreteinél, és szimmetrikus alakjánál fogva kiválóan alkalmasnak mutatkozik a legpontosabb és legkényesebb fizikai, geodéziai és meteorológiai kísérletekre és mérésekre.

Külön megtervezve se lehetett volna tudományos vizsgálódásokra alkalmasabb helyet teremteni, s minthogy az építésvezetőségtől szerzett felvilágosítások szerint a helyiségnek az országház térbeosztásában semmi különös rendeltetése nincsen, továbbá ama csekély

³ Országos Levéltár.

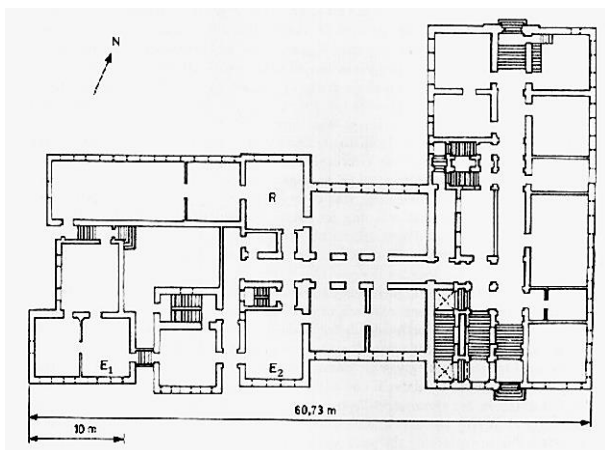
toldalékmunkálatok, amelyeket tudományos laboratóriummá átalakítása megkívánna, az építésvezetőség szerint semmiféle nehézséget vagy nagyobb költséget nem okoznának, bízva Nagyméltóságodnak a tudományok iránti szeretetében, ama kérelemmel járulok nagyméltóságod elé, kegyeskedjék a szóban forgó helyiségeket a kir. m. tudományegyetem Fizikai Intézete s a kir. József műegyetem geodéziai tanszéke céljainak olyképpen átengedni, hogy azok a tudományegyetem Fizikai Intézetéhez kapcsolva, az Intézet vezetőtanárainak igazgatása alatt álljanak.

A kérés, természetesen, hosszas aktatologatás után elveszett a bürokrácia útvesztőiben.

Kíséreljük meg kideríteni, hol volt hát a mérések tényleges helyszíne! Bod László és szerzőtársai (1991) foglalkoznak a kérdéssel és bemutatják az ELTE D-épületének (akkor a Kísérleti Fizikai Intézet épülete) építészeti rajzait. Személyes adatközlésként, Barnóthy Jenőre hivatkozva – aki öt évvel Eötvös halála után lett a tanszék munkatársa – Marx György szerint: „... az Eötvös-Pekár-Fekete-kísérlet helye az épület délnyugati végében egy kis melléképület volt, ahol ma a neutron-generátor működik (4. ábra, E₁-el jelölve). Eötvös idejében az innen nyugatra eső épület (a C-épület) még nem állt. ... Kelet felől viszont már állt a Fizikai Intézet masszív épülete, amelyen mintegy 20 méterre a kísérlet helyétől még ráadásul egy betontorony is magasodott. A mérő helyiség alatt nem volt pince, csak talaj, felette nem volt emelet. ... 25 évvel később Renner megismételte a kísérletet a geofizikai laboratóriumban, amely valószínűleg a Fizikai Intézet északi oldalán, a földszint közepén volt, ahol most a számítógépterem van.” (a 4. ábrán R-rel jelölve)

Mind az alaprajzon, mind az 5. ábraként bemutatott Eötvös fényképen, valamint a Bod et al. által bemutatott homlokzati rajzon látható, hogy a kis „melléképület” a főépülettel azonos stílusú, ablakai, burkolata, tetőszerkezete a főépülethez igazodik, tehát minden bizonnyal egyidőben épültek. Kétségtelen tény, hogy az épülettömb Ny-i szárnya építészetiileg abszurd: nincs az az építész, aki egy ilyen, némi építészeti ornamentikával álcázott, hatalmas tűzfalat tervezne, mint ahogy Eötvös felvételén látható. Feltehető, hogy miután az építési költségek túllépték a tervezett kereteket, az É-i szárny felépítése után le kellett állítani az építkezést, és a kis melléképület a tűzfal látványának enyhítésére szolgált.

Ennyi ellentmondás feloldására már csak helyszíni nyomozás kecsegtetett némi reménnyel. Eötvös idejében a Múzeum-körúti épületkomplexum – amely jelenleg a Bölcsészettudományi kar kampusza – adott otthont a jogi kar kivételével az egész Pesti Tudományegyetemnek. A Bod et al. [1991] cikk íróinak idejében az E-épület kivételével – amelyet még most is az Orvostudományi Egyetem birtokol – az összes épületet az ELTE Természettudományi kara foglalta el.



4. ábra
Az 1887-ben épült
Fizikai Intézet épületének
alaprajza.



5. ábra
Eötvösnek, feltehetően a
Főépület tetejéről készített
felvétele. Laboratóriumainak
ablakait a szemközti épület
részben takarja. Az elől
látható kis melléképület
pincéje lehetett korai
kísérleteinek helyszíne.



6. ábra
A jelen: Eötvös
laboratóriumának négy ablaka
az előtérben. A barakkszerű fehér
melléképület a háttérben húzódó,
a 30-as években épült C-épület előtt
látható. A feltételezett „laboratóriumi
előtér” a fenyő mögött van.

A szerkesztő „személyes nyomozásának” első, megdöbbentő élményét a kis „melléképület” szolgáltatta, amely jelenleg a Bölcsésztudományi Kar Diákönkormányzatának ad otthont és egyáltalán nem hasonlít sem az alaprajzhoz, sem az Eötvös-fotón látható épülethez, inkább felvonulási barakknak tűnik (6. ábra baloldalán a kis fehér épület): nincs összekötve a D-épülettel, nincs téglá burkolata, ablakai nem D-re néznek, hanem Ny-ra és K-re. A fiatalok kedvesen körülvezettek birodalmukon, és akkor következett a második meglepetés: a második szobából lépcső vezet le egy mély, tágas, legalább 3,5 m belmagasságú pince-terembe. „Túravezetőim” büszkén szemléltették, hogy elődjük (a neutrongenerátor) elszívó-berendezése nagy zörgéssel ma is működik. Hogyan írhatták Bod és társai, hogy az épületnek nincs pincéje? Még az a lehetőség is kizárt, hogy utólag mélyítették ki, hiszen azt is írják, hogy Eötvösék: *A kísérletben szereplő torziós ingákat egy körülbelül egy méter oldalhosszúságú kőtalapzatra helyezték, amely mélyen a talajba volt süllyesztve. Ezekből a kőtalapzatokból néhány még ma is látható az Atomfizikai Intézetben. Az volt a feladatuk, hogy rázkódásmentes stabil helyet biztosítsanak az érzékeny ingák számára.* Ha Barnóthynak igaza volt, akkor az 1889-es, a tehetetlen és súlyos tömeg arányosságának vizsgálatára irányuló, és az 1902-es abszorpciós kísérleteket ebben a pince-laboratóriumban végezték.

A következő, és legfontosabb kérdés, hogy az 1907–1908-as kísérletek helyszíne hol volt? A már sokszor idézett Bod-féle cikk szerint Barta György, már mint nyugdíjas professzor, Marx György kérdésére azt a felvilágosítást tudta adni, hogy a Renner-kísérlet a D-épület K–Ny-i szárnyának északi oldalán, a földszinten, a helyszínrajzon (4. ábra) R-el jelölt szobában zajlott. Barta nemhogy az Eötvös-kísérlet, de még a Renner-kísérlet idején sem volt egyetemi hallgató, tehát információja nem elsőkézből valónak tekinthető. Pekár Dezső, akit a kérdésben a legilletékesebb személynek kell tekintenünk, 1941-ben a következőket írta: *„Az eszközt jól védett északi fekvésű laboratóriumban és még ott is egyébként a szabadban használatos kettős vászonfalú, tengeri fűvel kitömött sátorban állítottuk fel.”* Azt feltételezhetjük, hogy a sátor falának szigetelésére a kezdetben használt finomszemű fűrészpórhelyett a későbbiekben áttérve a tengeri fű használatára, tévedett, de hogy az Eötvös által leírt déli fekvésű szoba helyett északi fekvésű szobát ír, és a kinyomtatott cikkből Eötvös leírását kihagyta, az már csak szándékos ferdítésnek tekinthető. Cikkében Renner [1935] panasolja, hogy a laboratórium alatti pincében a változó mennyiségű szén okozhatott némi zavart, de ő is északi fekvésű laboratóriumot ír le méréseinek helyszínéül. Ezek szerint valamikor, 1909 és 1930 között a torziós-inga laboratóriumot átköltöztették az északi oldalra. Az Eötvös-kísérlet helyszíne pedig feltehetően a déli oldalon, a helyszínrajzon E₂-vel jelölt helyiség.

Végezetül úgy érezzük, összefoglalóan értékelnünk kell az Eötvös-kísérletet 100 év távlatából. Jelentőségének talán legjobb mércéje az a folytonos érdeklődés, ami az irodalomjegyzékből is kitűnik, és hatása a jelenkor fizikájára. Lee és Yang [1955] elegáns, egyoldalas cikke, mely elsőként vont korlátot új hosszútávú erőkre, a barion-számokhoz kapcsolva azokat, az EPF-cikk adatait használta. Érdekes módon emiatt ideiglenesen félretették a gyenge kölcsönhatások lehetséges paritás-sértése terén végzett vizsgálataikat, mely munkáért elnyerték 1957-ben a Nobel-díjat [lásd továbbá Franklin–Fischbach, 2016. p. 180]. Miután a Lee és Yang cikk indította el Fischbach és munkatársai [1986], az „ötödik erő” koncepciójához vezető kutatásait, nyugodtan állíthatjuk, hogy a nagy hatótávolságú erők iránti jelen érdeklődés visszavezethető az eredeti EPF-cikkre. Továbbá a jelenleg folyó próbálkozások az EPF-adatok torziós ingával történő reprodukálására, Eötvösnek a torziós inga kitérése mérési pontosságának növelése terén elért eredményeihez köthető. Egyértelműen állítható – függetlenül attól, hogyan alakul az ötödik erő sorsa – hogy Eötvös munkája iránti érdeklődés még sokáig fennmarad.

Bezárandó a *Történelmi Háttér* témáját, elérkezünk a jelenhez, Eötvös halálának 100. évfordulójához. A sok megemlékező program között számos intézményt és kutatót találunk, amelyek ill. akik különböző oldalakról közelítve, de elérkeznek a fizika alapproblémájához, a gravitáció természetének kérdéséhez; és mindnyájuk számára a kiindulópont az Eötvös-kísérlet!

Felhasznált irodalom

- Bod L., Fischbach E., Marx Gy., Náray-Ziegler M. 1991: One hundred years of the Eötvös Experiment. *Acta Physica Hungarica* 69/3-4. pp. 335–355.
- Bod L., Fischbach E., Marx Gy., Náray-Ziegler M. 1992: Az Eötvös-kísérlet száz éve. *Fizikai Szemle*, 3. pp. 94–101.
- Braginskii V.B. and Panov V.I. 1971: *Zh. Eksp. Teor. Fiz.* 61. pp. 872–879; *Sov. Phys. JETP* 34. pp. 463–466. (1972).
- Dicke R. H. 1957: Principle of Equivalence and the Weak Interactions. *Reviews of Modern Physics* XXIX. pp. 344–362.
- Dicke R. H. 1961: The Eötvös Experiment. *Scientific American* 205/6. pp. 84–95.
- Dicke R. H. 1962: Az Eötvös-kísérlet. *Fizikai Szemle* 12. pp. 111–118.
- Dicke R. H. 1964: Megjegyzések az ekvivalencia elvekkel kapcsolatban. *Fizikai Szemle* 14. p. 18.
- Eötvös L. 1890: A föld vonzása különböző anyagokra. *Akadémiai Értesítő*, I. pp. 108–110.
- Eötvös R. 1906: Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hilfe der Drehwage. Verhandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der Erdmessung in Budapest. Bd.I. S.337-395.
- Eötvös R., Pekár D. and Fekete E. 1922: Beiträge zum Gesetze der Proportionalität von Trägheit und Gravität. *Annalen der Physik* IV. Folge, Bd. 68. pp. 11–66.
- Fischbach E., Sudarsky D., Szafer A., Talmadge C. Aronson S.H. 1986: Reanalysis of the Eötvös Experiment. *Physical Review Letters* 56. pp. 3–6.
- Fischbach E., Sudarsky D., Szafer A., Talmadge C. Aronson S.H. 1988: Long-range forces and the Eötvös Experiment. *Annals of Physics* 182. pp. 1–89.
- Fischbach E. and Talmadge C. 1999: The Search for non-Newtonian gravity. Springer, New York.
- Franklin A. and Fischbach E. 2016: The rise and fall of the Fifth Force. Springer, New York.
- Illy J. 1989: Einstein und der Eötvös-Versuch: ein Brief Albert Einsteins an Willy Wien. *Annals of Science* 46, p. 417.
- Király P. 1987: Az „ötödik erő” körüli viták–magyar szemmel. *Természet Világa* 118. 5. pp. 154–156
- Király P. 2007: A 100 éves Eötvös-Pekár-Fekete kísérletek és máig tartó hatásuk. *Fizikai Szemle* LVII. 1. pp. 1–6.
- Lee T.D. and Yang C.N. 1955: Conservation of heavy particles and generalized Gauge transformations. *Physical Review* 98. 5. p. 1501.

- Nieto M.M., Hughes R.J. and Goldman T. 1988: Gravity & Antimatter. Scientific American, Vol. 258. 3. pp. 48–56.
- Novobátzky K. 1964: Appreciation of Roland Eötvös. *Annales Universitatis Scientiarum Budapestiensis de Rolando Eötvös nominate, Sectio Geologica* VII. pp. 3–7.
- Pekár D. 1941: Eötvös Loránd tudományos kutatásai. in Báró Eötvös Loránd. A torziós inga ötven éves jubileumára p. 108. Kis Akadémia, Budapest
- Renner J. 1935: Kísérleti vizsgálatok a tömegvonzás és a tehetetlenség arányosságáról. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 53. pp. 542–568.
- Renner J. 1962: Megjegyzések az Eötvös-kísérletről szóló cikkhez. *Fizikai Szemle* 12. pp. 223–224.
- Roll P. G., Krotkov R., Dicke R. H. 1964: The equivalence of inertial and passive gravitational mass. *Annals of Physics* 2. pp. 442–517.
- Selényi P. szerk. 1953: Roland Eötvös gesammelte Arbeiten. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Szabó Z. szerk. 1998: Three fundamental papers of Loránd Eötvös. ELGI, Budapest.
- Szabó Z. 2016: The history of the 125 year old Eötvös torsion balance. *Acta Geodaetica et Geodaetica et Geophysica*, 51. 2. pp. 273–293.
- Szabó Z. 2006: Eötvös Loránd és a Föld alakja (Az Internationale Erdmessung budapesti konferenciájának 100. évfordulójára). *Magyar Geofizika* 47. 2. pp. 80–85.

1046.

AKADÉMIAI É R T E S Í T Ő

A MAGYAR TUD. AKADÉMIA MEGBIZÁSÁBÓL

SZERKESZTI

SZILY KÁLMÁN

FŐTITKÁR

ELSŐ KÖTET.



1890. ÉVFOLYAM.

I-XII. FÜZET.

A MAGY. KIR. FÖLDTANI
INTÉZET KÖNYVTÁRA.

BUDAPEST

KIADJA A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

1890.

A FÖLD VONZÁSA KÜLÖNBÖZŐ ANYAGOKRA

Eötvös Loránd

Az Akadémia elé terjesztett dolgozatának kivonata.

Akadémiai Értesítő I. 1890. pp. 108–110.

Azon tételek között, melyekre Newton az ő gravitációelméletét alapította, a legfontosabbak egyike az, hogy a vonzás, melyet a földi testekre gyakorol, tömegükkel arányos és anyagi minőségüktől független. Már Newton kísérletekkel igazolta ez állítását. Nem elégedett meg a már előtte ismert iskolai kísérlettel, mely azt mutatta, hogy üres térben a pehely és a pénzdarab egyformán esnek, felhasználta e célra a pontosabban észlelhető ingamozgásokat is. Ingákat szerkesztett, melyekben egyenlő nehézségű, de különböző anyagú testek: arany, ezüst, ólom, üveg, homok, konyhasó, víz, búza és fa lehetőleg egyenlő (körülbelül 11 lábnyi) sugarú köríveken mozogtak, s e lengési időket megfigyelve, nem bírt közöttük különbséget megállapítani.

Newtonnak e kísérletei kétségtelenül sokkal pontosabbak a fent említett iskolai kísérletnél; pontosságuk mégis alig haladja meg az egy ezredet, úgyhogy szigorúan véve csak annyit bizonyítanak, hogy az ingáiban használt anyagok nehézségi gyorsulásai között egy ezredrészüknél nincs nagyobb különbség. A pontosságnak ez a foka nem tekinthető kielégítőnek ily fontos kérdés eldöntésére, s ez okból Bessel 1830-ban klasszikus ingakísérleteinek folyamában szükségesnek tartotta az újabb vizsgálatot. Méréseivel, melyeket arany, ezüst, ólom, vas, cink, sárgaréz, márvány, agyag, kvarc és meteoritek lengéseire vonatkozólag tett, kétségtelenül megmutatta, hogy ezen anyagok nehézségi gyorsulásai között nem lehet nagyobb eltérés, mint e gyorsulásnak egy ötvenezredésze. De nem elég még ez sem; jól mondja Bessel, hogy mindig érdekes lesz e tétel igazságát oly pontossággal megvizsgálni, amilyenre a haladó kor tökéletesedő segédeszközei képesíteni fognak.

Különösen két okból kíváncsi e vizsgálat. Először azért, mert Newton tétele veti meg az alapot, hogy a testek tömegét nehézségük által a mérlegen lemérhessük, s így a logika megkívánja, hogy az alaptétel helyes volta legalább a pontosság azon határáig bebizonyított legyen, amelyet a mérlegetésben elérhetünk; ez pedig az egy ötvenezredet messze túlhaladja, sőt az egymilliomodot is felülmúlja. Másodszor azért, mert Newton és Bessel kísérletei csak olyan testekre vonatkoznak, melyek egymástól anyaguk eloszlását illetőleg aránylag kevésbé különböznek, s majdnem teljesen függőben hagyják a kérdést a sokkal ritkább légnemű testekre vonatkozólag. Bessel kísérleteiből legfeljebb annyit következtethetünk, hogy a levegőre gyakorolt vonzóerő nem különbözik többel a szilárd testekre vonatkozótól, mint egy ötvenedrészszel.

A tömegvonzásra vonatkozó vizsgálódások folyamában az én figyelmem is ráirányult a kérdésre, és amennyiben megoldása felé más úton haladtam, mint Newton és Bessel, és sokkal nagyobb pontosságot értem el, mint ők, érdemesnek tartom okoskodásom menetét és kísérleteim eredményét a t. Akadémiának előterjeszteni.

Az az erő, melynek következtében a testek üres térben a Földre esnek, s amelyet nehézségnek nevezünk, két összetevő erőnek, ti. a Föld vonzóerejének és a Föld forgásából származó középfutó erőnek eredője. Ez a két összetevő erő általában nem egyazon s nem is ellentett irányú, hanem egymással szöget alkot, mely közel egyenlő a geográfiai szélesség pótszögével. Az eredőnek iránya ez összetevőktől függ; világos tehát, hogy a Földnek ugyanazon a helyén, egyenlő tömegű testek középfutó erői egyenlők lévén, e testek

nehézségeinek különböző irányúaknak kellene lenniök, ha a reájuk gyakorolt vonzóerők különbözők volnának.

Budapesten a középfutó erő a nehézség irányát körülbelül 5' és 56", vagyis 356 másodpercnyi szöglettel téríti el a Föld vonzása irányától dél felé. Számítás útján azt találjuk, hogy ha a Föld vonzása két egyenlő tömegű, de különböző anyagú testre egy ezredrésszel különböző lenne, akkor e testek nehézségi irányai egymással 0,356, vagyis körülbelül egyharmad másodpercnyi szögletet zárnának be, ha pedig a különbség a vonzóerőben egy húszmilliomod volna, akkor e szögletnek 356/20 000 000, vagyis egy hatvanezred másodpercnél valamivel nagyobbnak kellene lennie.

A nehézség irányában netán mutatózó ilyen kicsiny eltérések felismerésére a függő ón és a libella (szintező) nem eléggé érzékeny eszközök. Jól használható azonban a csavarodási mérleg, úgy, amint azt a nehézség irányába mutatózó kicsiny eltérések felismerésére más vizsgálatoknál is már használtam.

Csavarodási mérlegeimben a vékony platinadrótra akasztott 25–50 centiméter hosszú mérlegrúd végeire különböző, egyenként körülbelül 30 gramm súlyú testeket erősítettem. A rudat a meridiánra merőlegesen állítván, állását egy vele mozgó és egy másik, az eszköz szekrényéhez erősített tükör segítségével pontosan meghatároztam. Aztán az eszközt szekrényestől 180 fokkal elforgattam úgy, hogy az a test, amely előbb a rúd keleti oldalán volt, most a nyugati oldalra jutott és viszont, s újból meghatároztam a rúd állását az eszközhöz. Ha a két oldalon alkalmazott testek nehézségei különböző irányúak volnának, a rudat tartó drót csavarodásának kellene bekövetkezni. Ilyen azonban nem mutatkozott akkor, ha az egyik oldalon állandóan alkalmazott sárgarézgolyóval együtt, a másik oldalon üveg, parafa vagy antimonit kristályok voltak felfüggesztve; pedig a nehézség irányában 1/60 000 másodpercnyi eltérésnek már az első percnyi, biztosan észlelhető csavarodást kellett volna létesíteni.

Megvizsgáltam ezután különösen azt is, hogyan áll a dolog a levegőre vonatkozólag. Levegőben mozgó testekre a levegő felhajtó erőt gyakorol, mely a kiszorított levegő nehézségével egyenlő, s vele ellentett irányú. Ezért, ha a levegő nehézségének iránya más volna, mint egyéb anyagoké, akkor a fent leírt kísérletekben ennek is a drót megcsavarodásában kellene nyilvánulnia. Természetes, hogy e csavarodás nem a levegőben úszó test súlyával, hanem csak a kiszorított levegőnek súlyával lenne arányos. Avégből, hogy ez lehetőleg nagy legyen, a rúd egyik végén üres üveggolyót alkalmaztam, melynek térfogata 120 köbcentiméter, súlya pedig 30 gramm volt, úgyhogy a levegő felhajtó ereje ennek körülbelül 1/200 részével volt egyenlő. Nagy elővigyázat volt szükséges arra, hogy ezen aránylag nagy térfogatú testre a levegő áramlása és a sugárzás zavaró befolyásait kizárjam és a mérlegrudat biztos egyensúlyba hozzam. Csak a fizikai intézet nyugodt pincéjében, éjjel és azáltal sikerült ez, hogy az egyensúlyi helyzeteket fotografáló eszközökkel határoztam meg. Csavarodást ez esetben sem észleltem, úgyhogy eltérést Newton tételétől még a Bessel méréseinél több mint négyszázszor pontosabb kísérleteim sem mutatnak.

Bátran állíthatok annyit, hogy ha egyáltalán van különbség a különböző anyagú, de egyenlő tömegű testek nehézségei között, úgy ez a különbség a sárgaréz, üveg, antimonit és parafára vonatkozólag egy húszmilliomodnál, sárgaréz és levegőre vonatkozólag pedig egy százezrednél bizonyára kisebb.

Appendix I

A Göttingeni Királyi Tudományos Társaság hírei

Üzleti közlemények 1909. 1. füzet

A Beneke Alapítvány

Az 1906-ban közzétett alábbi pályázati felhívásra:

„Eötvös kidolgozott egy nagy érzékenyséű módszert különböző anyagok súlyos és tehetetlen tömegének összehasonlítására. Ebből kiindulva, és figyelembe véve a legújabb kutatási eredményeket az elektrodinamika terén, illetve a radioaktív anyagok felfedezését, szükségessé vált a tehetetlenség és a tömegvonzás arányosságára vonatkozó Newtoni törvény eddigieknél nagyobb pontosságú vizsgálata” – az egyetlen beérkezett pályamű címe:

„Adalékok a tehetetlenség és a tömegvonzás arányosságának törvényéhez”,

jeligéje:

„Ars longa, vita brevis”

A pályamű értékelésekor fontos figyelembe venni azokat a szempontokat, amelyek a Társaságot a pályázat kiírására készítették.

A Newton által felfedezett, és róla elnevezett „Általános tömegvonzás törvénye” teljes egészében leírja az anyagi világ jelenségeit, és tesz néhány rendkívül érdekes, ennek ellenére nem kellően hangsúlyozott megjegyzést: 1) A tömegvonzást semmilyen módon nem befolyásolja az anyagi összetétel, azt csak és kizárólag a „tehetetlenség” határozza meg. Ezzel a tehetetlenséggel arányos a tömegvonzás, így megfogalmazható a törvény: A gravitáció és tehetetlenség viszonya minden anyagi részecskére megváltoztathatatlan és azonos nagyságú. Abból, hogy a tehetetlenség minden anyagi ponthoz elválaszthatatlanul és megváltoztathatatlanul hozzátartozik, következik, hogy a test tömegvonzása is egy megváltoztathatatlan anyagi sajátosság. 2) Két anyagi pont közötti gravitációs kölcsönhatást más anyag jelenléte nem befolyásolja. Tehát a Földnek egy belső anyagi részecskéje és egy a nap középpontjában lévő részecske pontosan úgy vonzza egymást, mintha egyáltalán nem lenne köztük a Föld és a Nap külső burkolatának anyaga. 3) A gravitációs kölcsönhatás csak az anyagi testek mindenkor, egymáshoz képesti kölcsönös helyzetétől függ, és független azok mozgásállapotától. Mindez arra utal, hogy a tömegvonzás terjedési sebessége végtelen.

Annyira hozzászoktunk a Newtoni törvények korlátlan érvényességéhez, hogy szinte szem elől tévesztettük a fenti kijelentések meglepő tartalmát.

Az elméleti elektrodinamika terén elért legújabb kutatási eredmények új megvilágításba helyezték a Newtoni törvények érvényességének kérdését. Kezdetben az elektromos és mágneses

erőket a gravitációval azonos típusúnak tartottuk. Azután Maxwell igazolta, hogy az elektromos és a mágneses erő terjedési sebessége nem végtelen, hanem a fénysebességgel azonos. Kimutatta továbbá, hogy a mágneses és elektromos jelenségek esetén fellépő kölcsönhatás nagymértékben változik a hatók között lévő közeg anyagi jellemzőitől függően. Mindez újra arra ösztönözte a fizikát, hogy a 2) és 3) kijelentés érvényességét kétségbe vonja. Még mélyebb elméleti jelentőséget nyert a tehetetlenség és tömegvonzás arányosságára tett 1) kijelentés. Az elektrodinamikának sikerült kimutatni, hogy minden elektromos töltés mechanikai értelemben vett tehetetlenséghez kapcsolódik, valamint megállapították, hogy minden anyagi testben található kisméretű, rendkívül nagy elektromos töltéssel rendelkező részecskék. Ennek megfelelően nem zárható ki, hogy egy adott anyag tehetetlenségének számottevő része, talán annak teljes egésze, elektrodinamikailag magyarázható. Így a tehetetlenséggel összefüggő gravitáció kapcsolatba került az elektrodinamikával is, ezáltal a tömegvonzás és a tehetetlenség arányosságára vonatkozó kijelentés meglepően új megvilágításba került.

Ezen megfontolások révén eljutunk a kérdéshez: hogyan osztályozzuk az anyagot a fizikai világban? Ezért a Kar számára különösen fontos, hogy újra megvizsgáljuk a tömegvonzás és a tehetetlenség arányosságának törvényét és sürgető igényként merült fel ennek a lehető legnagyobb pontosságú kísérleti bizonyítása. Ez volt az 1909-re kiírt pályázat indítéka.

Az „*Ars longa, vita brevis*” jellegű pályamű még érintőlegesen sem foglalkozik a felvetett elméleti megfontolásokkal. Nyilvánvaló tehát, hogy nem vették figyelembe azon kívánságok jelentős részét, melyek a Kart a pályázat kiírására sarkallták. Minden erejüket a kísérletek elvégzésére fordították, valamint megmutatták azt is, hogy hogyan lehet a szóban forgó problémára vonatkozóan értékes következtetéseket levonni az árapály jelenségekkel foglalkozó, jól ismert kísérletek felhasználásával.

Változtatás nélkül használták fel az Eötvös által készített műszereket. Jelentős figyelmet fordítottak a hibaforrások tanulmányozására, ezáltal a mérési eredmények megbízhatósága kiemelkedő. A kapott eredmények annyira értékesek, hogy a Kar, megelégedettségének jeléül, a mérések elvégzésének elismeréseként, javasolhatja a pénzdíj odaítélését.

Newton egy sor különféle anyag vizsgálata alapján azt találta, hogy a súlyos és tehetetlen tömeg minden esetben arányos egymással nagyságuk $1/1000$ részéig. Bessel ingakísérletével kimutatta, hogy bármilyen eltérés legfeljebb $1:60.000$ lehet. Eötvös bejelentette, hogy műszerével az arányosság érvényességét $1/20.000.000$ -ig tudja bizonyítani; nem adott azonban semmilyen információt a mérési anyagokról. Jelen pályamű új megfigyelési adatok alapján, egy sor különböző anyagra (platina, magnálium, réz, víz, kristályos rézszulfát, rézszulfát oldat, azbeszt és faggyú) kimutatta, hogy az arányosság törvényétől való eltérés nem éri el az $1/200.000.000$ értéket. Azt is ki tudták mutatni, hogy sem a Landolt által annak idején a tömeg állandóságának vizsgálata céljából végzett, ezüstsulfát–vassulfát kémiai reakció során, sem a Heydweiller azonos célból végzett, rézszulfát vízben oldása során a súlyos és tehetetlen tömeg arányának törvényétől való eltérés nem lépte át a megadott határértéket. Különösen érdekes, hogy kísérleteikbe egy magas aktivitású radioaktív anyagot, rádiumbromidot is bevontak. A kísérletek végrehajtása ez esetben természetesen sokkal nehezebb volt, emiatt az eredmények kevésbé pontosak. Az adódott, hogy a súlyos és tehetetlen tömeg arányosságának törvényétől való eltérés a rádiumpreparátum esetén is bizonyára alatta marad a hozzávetőlegesen $1/2.000.000$ értéknek.

Megvizsgálták a fenti 2) kijelentést is, miszerint a gravitációt nem befolyásolhatja a vonzó testek közé helyezett anyag. Itt idéznek néhány, jó pár évvel ezelőtti (1902) kísérletet, melyeket

azonban csak előzetes kísérletként jellemeznek. Arra a következtetésre jutottak, hogy egy, a Föld átmérőjéhez közeli méretű, ólomlemez közbeiktatása kevesebb mint nagyságának 1/800-ad részével változtatja meg a gravitációt. Ezután a szerzők az árapály jelenségre vonatkozó elméleti megfontolások során arra a következtetésre jutottak – különösen a Hecker-féle, horizontális ingával végzett árapály megfigyelések alapján – hogy az egész Föld, mind közbeiktatott test hatása a Nap egy anyagi részecskére vonatkozó tömegvonzását kevesebb, mint 10.000-ed részben változtatja meg.

A teljes munka végeredményét így összegzik: „Elvégeztünk egy olyan kísérletsorozatot, melynek pontossága minden korábbiét felülmúlta, ám egyik esetben sem tudtunk a tehetetlenség és a gravitáció arányosságának törvényétől való eltérést érzékelni.”

A szerzők az értekezés elején megjegyzik: Tekintettel arra, hogy nagyon kevés idő állt rendelkezésünkre a teljes munka átnézésére, kérjük, hogy ne vegyék tekintetbe az esetlegesen előforduló elírásokat és az eredmények lényegét nem érintő számolási hibákat. Így nem kell nagy jelentőséget tulajdonítani annak, hogy az árapály jelenségek tárgyalásának ismertetése sokkal alaposabb és teljesebb is lehetne.⁴

Bizonyos, hogy a pályamű szerzői nagyon fontos pontokban nem feleltek meg a Kar elvárásainak, és azt is meg kell említeni, hogy egyes részekben a megvalósítás részleteit nem ismertetik. Mindezek ellenére a munka olyan értékes ismereteket eredményezett, melyekre alapozható a Newtoni törvény érvényességének messzemenő kiterjesztésére vonatkozó összes elméleti megfontolás. A fentiek miatt a Kar nem javasolja a teljes pénzdíj odaítélését.

Göttingen, 1909. április 1.

Filozófiai Kar dékánja:

C. Runge

⁴ Úgy tűnik, ezt a bekezdést az eredeti kéziratból idézi, de ilyen szöveg sem a kéziratban, sem a publikációban nem található. Feltételezhető, hogy a kísérőlevélből való az idézet. (A szerkesztő megjegyzése)



Appendix I

Nachrichten

von der

Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften
zu Göttingen.

Geschäftliche Mitteilungen.

1909. Heft 1.

Benekesche Preisstiftung.

Auf die im Jahre 1906 gestellte Preisaufgabe:

„Von Etvös wurde eine sehr empfindliche Methode angegeben, Trägheit und Gravität der Materie zu vergleichen. Mit Rücksicht hierauf und im Hinblick auf die neuere Entwicklung der Elektrodynamik sowie auf die Entdeckung der radioaktiven Substanzen ist das Newtonsche Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität möglichst weitgehend zu prüfen“

ist eine Bewerbungsschrift mit dem Titel:

„Beiträge zum Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität“,

und dem Motto:

„Ars longa, vita brevis“

eingelaufen.

Um zu einem Urteil der Bewerbungsschrift zu gelangen, scheint es wichtig, die Gesichtspunkte zu beachten, welche die Gesellschaft bei der Stellung der Preisfrage leiteten.

Das von Newton entdeckte und nach ihm benannte Gesetz der Allgemeinen Gravitation, welches die Erscheinungen der materiellen Welt in ihrer Gesamtheit umfaßt, spricht einige Sätze aus, die überaus merkwürdig sind, die man aber trotzdem nicht hervorzubeben pflegt: 1) Die Anziehung wird garnicht beeinflußt durch die physikalische Beschaffenheit der Materie, sondern wird einzig und allein durch die „Trägheit“ bestimmt. Mit dieser Trägheit sind die Fernwirkungen proportional, sodaß man kurz den Satz formulieren kann: Das Verhältnis von Gravität und Trägheit ist für alle materiellen Teile unveränderlich und für alle gleich groß. Da allen materiellen Teilen eine unveränderliche Trägheit anzuhafte scheint, so wäre zu folgern, daß auch die Gravität eine unveränderliche Eigenschaft der Materie ist. 2) Die Fernwirkung irgend zweier materieller Teile wird durch die Anwesen-

heit der übrigen materiellen Teile nicht beeinflußt. — Ein Teilchen im Innern der Erde und eines inmitten des Sonnenballes, ziehen hiernach einander gerade so an, als ob die von dem Erdkörper und dem Sonnenkörper gebotenen materiellen Mäntel garnicht vorhanden wären. 3) Die Fernwirkung hängt allein von der jeweiligen gegenseitigen Lage der materiellen Körper, nicht von ihrem Bewegungszustand ab. Es scheint hiernach die Gravitation sich in unendlicher Geschwindigkeit auszubreiten. —

Man hat sich an den Gedanken der unbeschränkten Gültigkeit des Newtonschen Gesetzes so sehr gewöhnt, daß das Gefühl für die Merkwürdigkeit der hervorgehobenen Sätze fast verloren gegangen ist. —

In ein neues Licht ist die Frage nach der Gültigkeit der Newtonschen Gesetze gerückt worden durch die Erfolge der theoretischen Elektrodynamik. Auch in den elektrischen und magnetischen Kräften hatte man anfänglich Einwirkungen ganz ähnlicher Art wie bei der Gravitation gesehen. Nun lehrte Maxwell, daß die elektrischen und magnetischen Kräfte sich nicht mit unendlicher, sondern mit der Geschwindigkeit des Lichtes ausbreiten. Er zeigte ferner, daß die Wechselwirkung bei den magnetischen und elektrischen Erscheinungen sehr wesentlich je nach der Art des Zwischenmediums variiert. Dadurch schon wurde die Physik von neuem angeregt, die Gültigkeit der Sätze 2) und 3) in Zweifel zu stellen. Noch tiefere theoretische Bedeutung gewann der Satz 1), der die Proportionalität von Gravität und Trägheit ausspricht. Es gelang der Elektrodynamik zu zeigen, daß mit einer elektrischen Ladung das Bestehen einer Trägheit im Sinne der Mechanik verbunden ist, und es wurde festgestellt, daß im Innern eines jeden materiellen Körpers eine außerordentlich große Zahl sehr stark elektrisch geladener kleiner Teilchen vorhanden ist. Danach nun schien es nicht ausgeschlossen, daß ein wesentlicher Teil der beobachteten Trägheit der Materie, vielleicht die Trägheit überhaupt, sich elektrodynamisch erkläre. So wurde die Gravitation, die doch mit der Trägheit zusammenhängt, jetzt auch in Verbindung mit der Elektrodynamik gebracht, und es rückte der Satz von der Proportionalität von Gravität und Trägheit in eine neue überraschende Beleuchtung.

Diesen Erwägungen weiter nachgehend, welche zu der Frage führen, wie die Materie in das physikalische Weltbild einzuordnen ist, schien es der Fakultät besonders wichtig, dem Satz von der Proportionalität der Trägheit und der Gravität erneut die Aufmerksamkeit zu schenken, und insbesondere erschien die denkbar

schärfste experimentelle Prüfung dringend erwünscht. Dies war der Anlaß zur Stellung der Preisaufgabe für 1909. —

Die Bewerbungsschrift mit dem Motto: „*Ars longa, vita brevis*“ geht auf die theoretischen Erwägungen, an die erinnert wurde, garnicht ein, berührt sie nicht einmal. Damit ist klar, daß einem wesentlichen Teil der Wünsche, welche die Fakultät bei Stellung der Preisaufgabe leiteten, nicht Rechnung getragen wird. Dafür wird die ganze Kraft auf die Ausführung der experimentellen Untersuchung verwendet, und es wird auch gezeigt, wie man unter Verwertung bekannter Erfahrungen über die Erscheinung bei Ebbe und Flut weitere wertvolle Folgerungen für das hier zur Behandlung stehende Problem ziehen kann. —

Es werden ohne eine Aenderung die durch Etvös konstruierten Apparate benutzt. Dem Studium der Fehlerquellen wird eine große Aufmerksamkeit geschenkt, sodaß die Beobachtungen einen hohen Grad der Zuverlässigkeit erhalten. Die gewonnenen Resultate sind so wertvoll, daß es die Fakultät mit Genugtuung begrüßen darf, durch Stellung der Preisaufgabe, zu den Beobachtungen Anlaß gegeben zu haben. —

Newton fand für eine Reihe von untersuchten Materialien, daß Gravität und Trägheit jedenfalls bis auf etwa $1/1000$ ihrer Größe mit einander proportional sind. Bessel zeigte, bei Gelegenheit seiner Pendelversuche, daß die etwaigen Abweichungen höchstens $1:60000$ erreichen könnten. Etvös hat mitgeteilt, daß es ihm mit seinen Apparaten möglich geworden sei, die Proportionalität bis auf $1/20\,000\,000$ zu erweisen; er macht aber keine Angaben über das Beobachtungsmaterial. In der Preisschrift wird auf Grund des neuen Beobachtungsmaterials nachgewiesen, daß für eine ganze Reihe sehr verschiedener Materialien (Platin, Magnalium, Kupfer, Wasser, krystallisiertes Kupfersulfat, Kupfersulfatlösung, Asbest und Talg) die Abweichung von dem Gesetz der Proportionalität jedenfalls nicht größer als etwa $1/200\,000\,000$ ist. Auch ließ sich zeigen, daß mit der chemischen Reaktion Silbersulfat-Ferrosulfat, die seinerzeit von Landolt verwertet wurde, um den Satz von der Konstanz der Masse zu prüfen und mit der Auflösung von Kupfersulfat in Wasser, die Heydweiller zu gleichem Zwecke verwendete, Veränderungen des Verhältnisses von Gravität und Trägheit in dem angegebenen Grenzbetrage jedenfalls nicht eintreten. — Von besonderem Interesse ist auch, daß eine sehr stark radioaktive Substanz, Radiumbromid, der Untersuchung unterworfen wurde. Die experimentellen Schwierigkeiten waren hier naturgemäß sehr viel größer und darum

die Schärfe des Resultates erheblich geringer. Es ergab sich, daß eine etwaige Abweichung des Verhältnisses von Gravität und Trägheit bei dem Präparat jedenfalls nicht größer war als etwa $1/2000000$. —

Auch der oben unter 2) aufgeführte Satz wird einer Prüfung unterzogen, nach dem die Wechselwirkung der Gravitation durch Zwischenschalten von Materie nicht beeinflußt werden soll. Dabei werden Versuche angeführt, die schon vor längeren Jahren (1902) angestellt worden sind, denen aber nur der Charakter als Vorversuch beigelegt wird. Es läßt sich folgern, daß durch eine zwischenliegende Bleiplatte von einer Dicke gleich dem Durchmesser der Erde die Gravitation um nicht mehr als etwa um $1/800$ ihres Betrages geändert würde. Hieran knüpfen die Verfasser theoretische Erörterungen über die Ebbe- und Fluterscheinungen und folgern, — insbesondere auch aus den Heckerschen Beobachtungen der Fluterzeugenden Kraft mittels des Horizontalpendels — daß die Zwischenschaltung der ganzen Erde die Anziehung der Sonne auf ein materielles Teilchen um weniger als den 10000. Teil ändert. —

Das Endresultat der ganzen Arbeit wird so ausgesprochen: „Wir haben eine Reihe von Beobachtungen angestellt, die an Genauigkeit alle vorangehenden übertrafen, doch konnten wir in keinem Falle eine bemerkbare Abweichung von dem Gesetz der Proportionalität von Trägheit und Gravität entdecken“.

Die Verfasser bemerken zu Anfang ihres Berichtes: Mit Rücksicht auf die Kürze der Zeit, die uns für die genauere Durchsicht unserer Arbeit zur Verfügung stand, bitten wir für eventuell vorkommende Schreibfehler und das Wesen der Resultate nicht beeinträchtigende Rechenfehler um Nachsicht. So mag denn nicht viel Gewicht darauf gelegt werden, daß in der Tat bei der Beurteilung der Flutwirkung ihre Darlegungen mehrfach Verbesserungen und Vervollständigungen bedürfen. —

Es ist gewiß, daß die Verfasser der Preisarbeit in sehr wesentlichen Punkten den Erwartungen der Fakultät nicht entsprochen haben, und es muß auch bemerkt werden, daß in Einzelheiten die Ausführungen nicht anerkannt werden können. Trotzdem aber bringt die Arbeit höchst wertvolle Resultate, indem sie als Grundlage für alle theoretischen Spekulationen den außerordentlich weitgehenden Gültigkeitsbereich der Newtonschen Gesetze zeigt. Die Fakultät steht darum nicht an, der Arbeit den vollen Preis zu erteilen.

Göttingen, den 1. April 1909.

Die philosophische Fakultät.

Der Dekan:

C. Runge.

ADALÉKOK A TEHETETLENSÉG ÉS A GRAVITÁCIÓ ARÁNYOSSÁGÁNAK TÖRVÉNYÉHEZ¹

ELŐSZÓ A MAGYAR FORDÍTÁSHOZ

Eötvös halála után 100 évvel megállapíthatjuk, hogy ez a dolgozata túlélte a fizika páratlan fejlődését hozó 20. századot, ma is aktuális, a mai fizikusok ennek a dolgozatnak köszönhetően ismerik Eötvös nevét világszerte. Többször is megjelent eredeti nyelvén, németül, több angol fordítás is készült, de ez az egyetlen munkája, amely soha nem jelent meg magyarul. Így nyugodtan állíthatjuk, hogy egy 100 éves mulasztást pótolunk jelen kötetünkkel.

A fordítás nem egyszerűen az 1922-ben az *Annalen der Physik*-ben megjelent, valószínűleg Pekár Dezső által összeállított publikáció fordítása, hanem az eredeti Eötvös-féle, német nyelvű fogalmazvány (melynek digitálisan feljavított változata, és annak átirata jelen fordítás után található) és az ugyancsak német nyelvű publikáció fordítása, e két forrás angol nyelven készült összedolgozását vezérfonalként használva.

Minden fordítás számtalan kérdést vet fel, de egy több mint 100 éves szöveg fordítása extra nehézségeket vet fel. Legjobb példa erre Eötvös mottóként használt latin közmondáshoz fűzött filozofikus fejtegetése, melyet éppen a fordítás tökéletlensége miatt közlünk eredetiben is. Minden fordítás alapkérdése, hogy mennyire ragaszkodjunk az eredeti szóhasználathoz. Tudományos szövegről lévén szó, úgy gondoljuk elsőrendű szempontnak az érthetőséget kell tekintenünk. Eötvös munkásságának kiemelkedő eredménye volt az ő ötlete alapján kifejlesztett, majd róla elnevezett speciális torziós inga. Eötvös idejében – talán a még nem túl távoli nyelvújítás következményeként – minden idegennyelvű kifejezésnek igyekeztek magyar megfelelőt találni, erre talán legmeghökkenőbb példa a centrifugális erő középfutó erőként való használata. A német Drehwaage csavarási inga formájában jelenik meg az előszóban idézett miniszteri levélben, de Eötvös 1890-es cikkében csavarodási mérlegként írja le, mely kifejezések manapság nevetségesen hangzanak. Az Eötvös halálát követő 25 évben az Eötvös-inga világszerte a nyersanyagkutatás – ezen belül főleg a kőolajkutatás – legfontosabb eszköze lett. Így a Magyarországon gyártott és exportált ingák típusainak megkülönböztetésére kialakult egy névhasználat, amely már nem egyezett Eötvös eredeti szóhasználatával. Pl. az Eötvös által *egyszerű nehézségi variométernek* ill. *kettős nehézségi variométernek* nevezett, a kísérletsorozatban használt műszerei, a későbbiekben *Balatoni inga*, ill. *kettős nagyesszék* néven váltak ismertté. Csak reménykedhetünk, hogy a fordítás elnyerné Eötvös jóváhagyását!

Miután e rendkívüli munkát kezdeményező Ephraim Fischbach és Samuel Aronson saját tudományos kutatásukhoz fontos információt vártak az eredeti Eötvös-féle fogalmazványtól, elsőrendű szempont volt a két forrás egyértelmű elkülönítése. Ezt úgy oldottuk meg, hogy a fogalmazványban szereplő szövegrészekhez egy kézírást imitáló betűtípust használtunk, míg a *csak* nyomtatásban szereplő szövegrészekhez egy hagyományos nyomtatott betűt. Így egy szokatlan forma állt elő, de reméljük nem zavarja az olvasót!

¹ Fordította Plank Zsuzsanna

„Ars longa, vita brevis”

Ez az ősi latin közmondás arra ösztönzi jelen szerzőket, hogy összeállítsák kutatásaik eredményeit és egy magasabb tudományos fórum elé tárják bírálatra.

A vizsgálati módszerek természetesen még a munkafolyamat ideje alatt is finomodnak, javulnak, így egyetlen halandó sem fejezhetné be munkáját, ha nem tartóztatná vissza magát azon, különben dicséretes igyekezet készítésétől, hogy az elfogadható helyett mindig a jobbra törekedjék.

Szerzők alá kell hogy vessék magukat az emberi sorsnak: nem élnek örökké! Rá kell hagyniuk a jövőre, a jövő tudományos kutatóira, hogy vizsgálati eredményeiket jobbá tegyék, holott úgy gondolják, jelen tapasztalataik birtokában ők maguk is jobb eredményekre juthattak volna.

„Ars longa, vita brevis”

Die Mahnung dieses alten Spruches veranlasst die Verfasser dieser Schrift die Resultate ihrer Untersuchungen zusammenzustellen und der Beurteilung eines hohen wissenschaftlichen Areopags zu unterwerfen.

Beobachtungsmethoden verfeinern und verbessern sich naturgemäß im Laufe der Beobachtung, und so könnte kein Sterblicher mit seiner Arbeit fertig werden, wenn er ohne Einhalt dem sonst lobenswerten Drange folgen würde das Brauchbare stets durch noch besseres zu ersetzen.

Verfasser ergeben sich dem Lose menschlicher Endlichkeit und überlassen es zukünftigen Zeiten und zukünftigen Arbeitern jene Beobachtungen weiter zu vervollkommen, die sie selbst nach reiflicher Erfahrung auch noch verbessern zu können glauben.

ADALÉKOK A TEHETETLENSÉG ÉS A GRAVITÁCIÓ ARÁNYOSSÁGÁNAK TÖRVÉNYÉHEZ

Eötvös Loránd, Pekár Dezső és Fekete Jenő

Jelen értekezés 1909-ben elnyerte a Göttingeni Egyetem Filozófiai Tanszéke Beneke Alapítványa pályázatának első díját. Közzétételével mostanáig vártunk, mert az Eötvös-inga továbbfejlesztett változata nagyobb pontosságú eredményeket ígért hasonló kísérletekben. Azonban az Eötvös-inga gyakorlati alkalmazása a magyarországi bányászati kutatásokban egyre nagyobb mértékben hátráltatja a fent említett vizsgálatok végrehajtását. Tekintettel a tanulmány eredményei iránt megnyilvánuló hatalmas érdeklődésre – különös tekintettel Einstein általános relativitás elméletének posztulátumára – a szerzők már nem kívánják többé elzárni a tanulmányt a nyilvános megvitatás elől. Úgy vélik, ezzel Báró Eötvös Loránd szándékainak megfelelően járnak el, aki már előkészítette a publikációt, de annak véglegesítése 1919. április 8-án bekövetkezett halála miatt elmaradt. Az eredeti tanulmány terjedelme 10 nyomdai ív, emiatt szükségessé vált az értekezés nagymértékű rövidítése úgy, hogy a munka lehetőleg ne szenvedjen veszteséget eredeti tartalmához képest. Ennek megfelelően elsősorban megfigyelési adatokat tartalmazó táblázatok és a munka egészét nem befolyásoló részek maradtak ki.

Kézirat 2/1²

1. A feladat megfogalmazása és kezelése

Newton III. törvénye a következőképpen fejezhető ki: egy test minden tömegpontja vonzza egy másik test minden tömegpontját oly erővel, melynek iránya a két testet összekötő egyenesre esik, nagysága pedig egyenesen arányos tömegükkel és fordítva arányos a köztük lévő távolság négyzetével. Tehát ha M és m a két test tömege és távolságuk r , akkor a köztük fellépő vonzóerő nagysága:

$$P = f \frac{Mm}{r^2}$$

A Galilei-Newtoni mechanika alapelvei szerint az m tömegpont M tömegpont irányában létrejövő gyorsulása:

$$\gamma = f \frac{M}{r^2}$$

A tehetetlenség és a tömegvonzás arányossága tehát azt jelenti, hogy az f gravitációs állandó értéke valóban állandó.

A következőkben Eötvös-ingával kapott mérési adatok alapján vizsgáljuk, hogy a gravitáció jelensége mennyiben felel meg a fenti összefüggésnek. A munka során vizsgálatainkat két fő irányban végeztük: először azt a kérdést vizsgáltuk, hogy a tömegvonzás függ-e a test anyagi minőségétől, majd az előzővel szorosan összefüggő kérdés kapcsán az tettük vizsgálatunk tárgyává, hogy egy testre ható vonzóerőben

² A kéziraton rendszerint két oldalszám található: a jobb felső sarokban Eötvös saját számozása (első szám), a másik a jobb alsó sarokban, melyet a restauráció során kapott (második szám). Megjegyzendő, hogy a helyenként összekeveredett lapok sorszáma, az értelemszerű helyreállítás után, nem folyamatos. Továbbá néhány lap elveszett, így az első számban néhol ugrás mutatkozik.

kimutatható-e változás más testek hatására, az elektromágneses indukció és különösen a hő- és fényelnyelés jelenségéhez hasonlóan.

A radioaktív anyagokkal végzett kísérletekkel külön fejezetben foglalkozunk.

Kézirat 4/3

2. Vizsgálatok annak eldöntésére, hogy függ-e a gravitáció a test anyagi minőségétől

Mindenekelőtt tekintsük át azokat az érveket, amiket maga Newton vetett fel Princiápiájában a különböző testek tehetetlenségének és tömegvonzásának arányosságával kapcsolatban. Érvelése kétirányú: csillagászati, főleg a Jupiter holdjainak mozgásához kapcsolódóan, és földi, a különböző minőségű testek szabadesésének és ingamozgásának megfigyeléséből adódóan. Mind a kétféle newtoni érvelés azt eredményezi, hogy a tömegvonzás nem függ a testek anyagi minőségétől, habár ezt olyan megfigyelésekkel igazolták, ahol a különböző anyagú, azonos tömegű és helyzetű testek között fellépő tömegvonzásnak csak 1/1000-nyi eltérését tudták érzékelni.

Kézirat 7/2

Newton kora óta erőteljesen fejlődött a földi és égi mozgások megfigyelésének módszertana, lehetővé téve a newtoni törvények alapjainak nagyobb pontosságú vizsgálatát. Ebben az értelemben különösen a Bessel-féle klasszikus ingakísérletekre gondolunk, amelyek segítségével a különböző testek közti tömegvonzás kimutathatósági határértéke 1/1000-ről 1/60 000-re javult.

A közelmúltban Eötvös – aki a miáltalunk használt, még pontosabb műszert is készítette – torziós ingájával végzett kutatásainak köszönhetően 1/20 000 000-ra sikerült a kimutathatósági határt leszorítani. A kísérlet módszertanát és eredményeit csak egy rövid jegyzetben közölte a Magyarországon 1890-ben kiadott Akadémiai Értesítő I. kötetében³, így szükségesnek tartjuk⁴, hogy a rövid leíráshoz egy kissé részletesebb kiegészítést tegyünk.

A nehézségi erőt két, általában eltérő erő eredőjének tekintjük, melyek egyike a testek tömegvonzásából, másik pedig a testek tehetetlenségéből ered. Így a különböző testeknél fellépő nehézségi erő irányának megfigyelésével feltárható a tehetetlenség és a tömegvonzás közötti összefüggés.

³ pp. 108–110.

⁴ Itt több oldal hiányzik a kéziratból

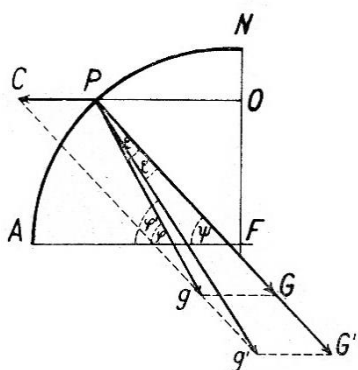
A P pontban lévő, egységnyi tömegre ható, a tömegvonzásból eredő gravitációs vonzás *első* komponensét az alábbi integrál fejezi ki:

$$G = f \int \frac{dm}{\varrho^2}$$

a *másodikat*, a tehetetlenségnek megfelelő komponenst, vagyis a centrifugális erőt a

$$C = l \cdot \omega^2$$

kifejezés adja. Az alkalmazott jelölések: dm egy vonzással rendelkező tömegelem, ϱ ennek távolsága P ponttól, f a gravitációs állandó, l a P pont távolsága a Föld forgástengelyétől, ω a Föld forgásának szögsebessége. Az 1. ábrán látható mindkét komponens, mint PG ill. PC vektor, valamint azok eredője is, azaz a teljes nehézségi erő, aminek nagyságát és irányát a Pg vektor adja. Emellett az 1. ábra megmutatja nekünk azt is, hogy a G vonzóerő iránya a g nehézségi erő irányától az északi földgömbön észak felé ε szöggel tér el. Nagysága a φ földrajzi szélességtől függ, és a következők szerint kell kiszámítani.



A P pontban fellépő erők eredője a függővonal irányába mutatva:

$$g = G \cos \varepsilon - C \cos \varphi, \quad (1)$$

másrészt az érintő síkjában a C és G komponens a P pontban kiegyenlítik egymást, így:

$$C \sin \varphi = G \sin \varepsilon, \quad (2)$$

ezáltal

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \frac{C \sin \varphi}{g + C \cos \varphi}. \quad (3)$$

1. ábra

Kézirat 9/4

A jobb követhetőség érdekében g , G , C és ε értékeket átszámoltuk 5×5 fokos földrajzi kvadránsokra a Bessel ellipszoid és a Helmert formula felhasználásával, és az alábbi táblázatban foglaltuk össze⁵. A számításokhoz a következő adatokat használtuk:

A földi ellipszoid nagy féltengelyére: $a = 637739700$ cm

kis féltengelyére: $b = 635607800$ cm

Továbbá: $g = 978,00 (1 + 0,00531 \sin^2 \varphi)$

A centrifugális erő az alábbi kifejezéssel számítható:

$$C = l \cdot \omega^2 = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \sin^2 \varphi}} \omega^2,$$

ahol

$$\omega^2 = 5,31751 \cdot 10^{-9}.$$

⁵ A táblázat sem a kéziratban, sem a publikált változatban nem található, de egy korábbi kiadványban (Selényi ed. 1953) megtaláltuk és beillesztettük. Könyvünk nyomtatott változatában még nem szerepel. (Szerkesztő megjegyzése)

φ	G	$C=l\omega^2$	ε	g	$G \sin\varepsilon=C \sin\varphi$
0°	978,0000	3,3912	0' 0"	981,3912	0,0000
5	978,0394	3,3784	1' 2"	981,4049	0,2944
10	978,1566	3,3400	2' 2"	981,4461	0,5800
15	978,3479	3,2764	2' 58"	981,5130	0,8480
20	978,6075	3,1871	3' 49"	981,6038	1,0903
25	978,9275	3,0753	4' 33"	981,7156	1,2997
30	979,2983	2,9393	5' 9"	981,8449	1,4697
35	979,7085	2,7848	5' 35"	981,9878	1,5951
40	980,1457	2,6014	5' 51"	982,1399	1,6721
45	980,5966	2,4019	5" 57"	982,2969	1,6984
50	981,0475	2,1841	5' 51"	982,4528	1,6731
55	981,4847	1,9495	5' 35"	982,6042	1,5969
60	981,8949	1,6999	5' 9"	982,7459	1,4721
65	982,2657	1,4371	4' 33"	982,8740	1,3025
70	982,5857	1,1633	3' 49"	982,9842	1,0931
75	982,8453	0,8805	2' 58"	983,0736	0,8505
80	983,0366	0,5908	2' 2"	983,1394	0,5818
85	983,1537	0,2966	1' 2"	983,1795	0,2954
90	983,1932	0,0000	0' 0"	983,1932	0,0000

Kézirat 10/5

Vizsgálataink során tegyük fel, hogy az azonos tömegű, de eltérő anyagi összetételű testek vonzóereje különböző. Ekkor a G és f mennyiségek nagyságát, továbbá ennek következtében a g és ε értékeket az anyagi jellemzőtől függőnek kell tekintenünk. Ezek után nem beszélhetünk egyetlen nehézségi erőről, sem egy ponton áthaladó egyetlen szintfelületről, hanem meg kell különböztetnünk a súlyos testek típusától függő, különböző nehézségi erőket és szintfelületeket. Ennek megfelelően, a gravitációs viszonyok közelítő megjelenítése nem lehetséges egyetlen Bessel ellipszoid és egyetlen Helmert formula felhasználásával, hanem a több eltérő testnek megfelelően több ilyen ellipszoid és több ilyen formula felhasználása szükséges.

Kézirat 11/6

A leginkább célravezetőnek az tűnik, ha meghatározzuk egy referenciaanyag gravitációs viszonyait, majd minden egyéb testet az ettől való eltéréssel jellemzünk. Ilyen referenciaanyagként szolgálhat például a víz, így az előző táblázatban lévő értékeket szeretnénk a vízre ható gravitációs vonzóerőre vonatkoztatni.

Megfontolásainkhoz kapcsolódóan a legfontosabb annak a felismerése, hogy különböző testek esetén a hozzájuk tartozó nehézségi erő iránya eltérő. Írjuk fel egy testre:

$$C \sin \varphi = G \sin \varepsilon$$

és egy másikra:

$$C \sin \varphi' = G' \sin \varepsilon'$$

mivel a G és G' vonzóerők iránya azonos, az 1. ábrának megfelelően felírhatjuk:

$$\varphi = \psi + \varepsilon$$

$$\varphi' = \psi + \varepsilon'$$

és kiszámíthatjuk a nehézségi erők irányai által bezárt szöget:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi$$

Kézirat 12/7

Figyelembe véve, hogy az így kapott szög nagyon kicsi, felírhatjuk:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = - \frac{G' - G}{G \cdot \cos \varepsilon - C \cos \varphi} \sin \varepsilon \quad (4)$$

ahol figyelembe vesszük, hogy amennyiben ε kisebb, mint 6 perc, $\sin \varepsilon$ helyébe ε -t írhatunk. Az (1) egyenlet felhasználásával kapjuk:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = - \frac{G' - G}{g} \sin \varepsilon.$$

Tartozzon G a referenciaanyaghoz (vízhez), és legyen:

$$G' = G (1 + \kappa).$$

Ebből következően:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = - \frac{G}{g} \kappa \sin \varepsilon. \quad (5)$$

Kézirat 13/8

A κ úgy értelmezhető, mint fajlagos tömegvonzási együttható, és így:

$$\frac{G'}{G} = \frac{f'}{f}$$

valamint

$$f' = f (1 + \kappa).$$

Ezek szerint Newton ingakísérletei alapján κ kisebb, mint 1/1000, Besselnél kisebb, mint 1/60 000 és Eötvösnél kisebb, mint 1/20 000 000.

A⁶ következők megértéséhez vezessük be az η eltérési szöget, amely egy tetszőleges anyag és a referenciaanyag (víz) nehézségi

⁶ Ez a szövegrész az eredeti kézirat lábjegyzetszerű kiegészítése az oldalmargón a kézirat 13/8 oldalán.

erő irányainak a pólussal képzett szögének különbsége, tehát az északi féltekén az északi iránytól való eltérés. Így:

$$\eta = \varepsilon - \varepsilon',$$

azaz:

$$(6) \quad \eta = \frac{G}{g} \kappa \sin \varepsilon.$$

Vizsgáljuk hát meg, hogy milyen módon észlelhető a különböző anyagú testekhez tartozó nehézségi erők irányainak eltérése! Mindenekelőtt arra a következtetésre jutunk, hogy különböző anyagokból készített függőőnök és különböző folyadékok nyugalmi helyzetei eltérő függőleges irányokat adnak. A függőőn sem volna általánosságban merőleges a folyadékok nyugalmi felületére.

Kézirat 14/9

A fenti adatoknak megfelelően a 45. szélességi fokon az irányok az alábbiak szerint térnének el:

$$\text{ha} \quad \kappa = \frac{1}{1000} \quad \text{akkor} \quad 0,375 \text{ másodperc},$$

$$\text{ha} \quad \kappa = \frac{1}{60\,000} \quad \text{akkor} \quad 0,00595 \text{ másodperc},$$

$$\text{ha} \quad \kappa = \frac{1}{20\,000\,000} \quad \text{akkor} \quad 0,000018 \text{ másodperc}.^7$$

Bár az ilyen, esetleg eltérő irányok megfigyelését azzal a szándékkal mutatjuk be, hogy választ kapjunk a minket érdeklő kérdésre, emellett azonban szeretnénk felidézni Guyöt egy bizonyos, annak idején szenzációsnak számító kísérletét. Guyöt 1836-ban a párizsi Pantheonban egy 57 méter hosszú, nyugalomban lévő ingára erősített markerek nyugalmi higanyfelületről visszaverődő tükröképeit figyelte meg, és arra a következtetésre jutott, hogy a jelek végződése a folyadékfelületre húzott merőlegetől 4,5 milliméterrel délre tér el⁸. Erősen

Kézirat 15/10

kétségbe vonatható, hogy mindez igazolná a nehézségi erő irányának eltérését. A szerzőnek magának is volt alkalma egy 22 méter magas toronyban, különféle kötelekre felfüggesztett, különböző anyagokból készült ingákkal meggyőződni arról, hogy a végpontok valóban eltérést mutatnak, de ezt az egyenlőtlenül felmelegedett és mozgó levegő okozta nyomás váltja ki.

⁷ A következő szöveg – majdnem 4 teljes oldal a kéziratban – teljesen hiányzik a nyomtatott változathól.

⁸ Guyot: La pendule n'est pas perpendiculaire à la surface des liquides tranquilles C. R. XXXII Fortschritte der Physik VI

A nehézségi erő iránya anyagi összetételtől való függésének további következménye, hogy különböző anyagokhoz különböző gravitációs nívófelületek tartoznak.

Legyen APN (2. ábra) a referenciaanyag (víz) nívófelületének meridián-negyede, AP'N' ugyanez egy másik anyag esetén, κ pedig a fajlagos tömegvonzási együttható.

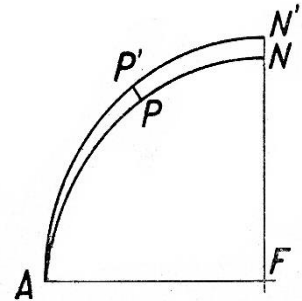
Kézirat 16/11

Az Egyenlítő azonos pontjára fektetett két nívófelület távolsága nehézség nélkül kiszámolható. Mozgassuk a második anyagból készült egységnyi tömeget A-ból a referenciaanyag nívófelülete mentén P-be, majd P-ből P'-be, és a második nívófelület mentén vissza A-ba, ezáltal az ezen zárt görbe mentén végzett összes munka $=0$. Tehát:

$$\int_0^\varphi g' \eta ds + zg' = 0,$$

ahol ds a meridián-negyed elemi ívhosszát, z pedig a nívófelület AP'N', felfelé pozitív irányú távolságát jelenti.

Felhasználva a (6) és (2) egyenletet, kapjuk:



2. ábra

$$\int_0^\varphi \frac{g'}{g} C \sin \varphi ds = -g'z$$

A hosszadalmas számítások elkerülése érdekében, még

Kézirat 17/13⁹

megfelelően jó közelítésként helyettesíthetjük g' -t g -vel, valamint legyen:

$$ds = r d\varphi$$

$$C = r \cos \varphi \omega^2,$$

ahol r a földsugár átlagos hosszát jelöli. Ezek után:

$$z = -\frac{1}{2} \frac{\kappa}{g} r^2 \omega^2 \sin^2 \varphi,$$

illetve $\varphi = 90^\circ$ esetén, vagyis a Föld valamelyik pólusán:

$$z = -\frac{1}{2} \frac{\kappa}{g} r^2 \omega^2.$$

⁹ A Kézirat 17/12. oldala helyesen az Abs.16/78 és Abs. 18/80 közé tartozik

Az $r = 636740000 \text{ cm}$ -t és a táblázatban megadott értékeket használva, a sarkoknál egy tetszőleges anyag és a víz vízfelülete közötti legnagyobb távolságnak

$$z = -1380250 \text{ cm}$$

adódik.

Kézirat 18/14

Következésképpen:

$$\text{ha } \kappa = \frac{1}{1000}, \quad \text{akkor } z = -1380 \text{ cm},$$

$$\text{ha } \kappa = \frac{1}{60\,000}, \quad \text{akkor } z = -23 \text{ cm},$$

$$\text{ha } \kappa = \frac{1}{20\,000\,000}, \quad \text{akkor } z = -0,069 \text{ cm}.$$

A sarkokon a pozitív κ értékek a vízfelület kiemelkedésének, a negatív értékek besüllyedésének felelnek meg.

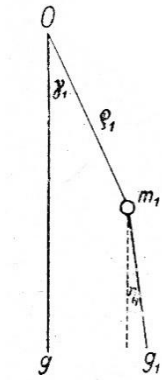
A földi anyagok ilyen elkülönüléséből arra gondolhatnánk, hogy a pozitív κ -val rendelkező anyagok a sarkoknál, míg a negatív κ -val jellemezhetők az egyenlítő mentén halmozódnak fel; azonban azok az erők, amelyek ezt a hatást kiválthatnák, egyértelműen túl kicsik, és a velük szemben ható ellenállás pedig túl nagy ahhoz, hogy egy ilyen szétválás megvalósulhasson.

Meglepő módon ilyen kismértékű irányeltérések is elegendők ahhoz, hogy olyan mechanikai erőket hozzanak létre, amelyek

Kézirat 19/15

észlelhetők, és ahogy arra Eötvös rámutatott, a torziós inga segítségével mérhetők is.

Ha a torziós inga lengőjén különböző anyagi összetételű m_1, m_2, m_3 , stb., tömegeket alkalmazunk, akkor meglátásunk szerint, a forgástengelyt jelentő torziós szálnak a vízre vonatkozó irányától a könnyen kiszámítható E szöggel kell eltérnie a pólus felé. Ha figyelembe vesszük egy ilyen lengő kelet-nyugati irányú, vízszintes O tengely körüli egyensúlyi feltételeit (3. ábra), akkor megkapjuk a nehézségi erő homogén m_1 tömegre vonatkozó forgatónyomatékának nagyságát:



3.ábra

$-m_1 Q_1 g_1 \sin(\gamma_1 - \eta_1)$,
valamint az egyensúlyi feltételt:

$$\sum m_k Q_k g_k \sin(\gamma_k - \eta_k) = 0,$$

ahol Q_k az m_1 test tömegközéppontja és a forgástengely közti távolságot, és γ_k a vízre ható nehézségi erő iránya és a Q_k által bezárt szöget jelenti; g_k az m_k egységnyi tömegre ható nehézségi erő és η_k ezek eltérése a víz nehézségi erejének irányától.

Alkalmazva az alábbi közelítéseket:

$$\cos \eta_k = 1$$

$$\sin \eta_k = \eta_k$$

$$g_k = g(1 + \kappa),$$

kapjuk:

$$\sum m_k Q_k g_k \sin \gamma_k + \sum m_k Q_k g_k (\kappa \sin \gamma_k - \eta_k \cos \gamma_k) = 0,$$

és ha M a lengő teljes tömege, valamint R a tömegközéppontjából húzott forgási sugár, akkor:

$$M R g \sin E + \sum m_k Q_k g (\kappa \sin \gamma_k - \eta_k \cos \gamma_k) = 0.$$

Ebből már egyértelműen következik, hogy E mindig kicsiny szög marad, nem haladhatja meg κ és η_k nagyságát.

A torziós inga forgási síkjában minden tömegrészecskére hat egy pólus irányú nehézségi erőkomponens, amely a következőképpen fejezhető ki:

$$m_k g_k (\eta_k - E).$$

Kézirat 21/16

Utalnánk most egy másik derékszögű koordináta rendszerben végzett számításunkra, melynek Z tengelye egybeesik a forgástengellyel (a torziós szállal), iránya lefelé, míg az X tengely északi, az Y tengely pedig keleti irányba mutat. Ekkor a nehézségi erőnek az előbbieken bemutatott irányeltérések miatt fellépő forgatónyomatéka a következő:

$$-\sum m_k g_k y_k (\eta_k - E) = -\sum m_k g_k y_k \eta_k + E \sum m_k g_k y_k;$$

azonban az X tengelyre vonatkozó egyensúlyi feltétel következtében:

$$\sum m_k g_k y_k = 0,$$

így a forgatónyomaték lerövidül az első kifejezésre:

$$-\sum m_k g_k y_k \eta_k.$$

Az általunk használt torziós ingánál a különböző súlyokat egy egyenes rúd mentén helyeztük el. Jelölje a az ingarúd egyik végét, míg b

a másikat, valamint m_a ; l_a ; g_κ és η_κ azokat az értékeket, amelyek az a végen elhelyezett tömeghez tartoznak. Hasonló jelöléseket alkalmazunk az ingarúd b felén. Vezessük be az azimutnak nevezett α szöget, amely az ingakar b -ből a felé mutató egyenese és az észak felé irányított X tengely által bezárt, óramutató járásának megfelelő szög. Így a forgatónyomatéokra a következő alakot kapjuk:

$$(\sum m_b l_b g_b \eta_b - \sum m_a l_a g_a \eta_a) \sin \alpha,$$

majd felhasználva a (6) egyenletet és elhanyagolva a κ^2 -tel szorzott tagokat, kapjuk:

$$(7) \quad D = (\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a) G \sin \varepsilon \sin \alpha.$$

Kézirat 23/19

Egy példán keresztül szemléltetjük ennek az feltételezett forgató-nyomatéknak a nagyságát. Függesszünk egy 40 cm hosszú, homogén rúd két végére különböző anyagból készült, 25 g tömegű súlyt. A 45. szélességi körön – ha a rúd vége keleti irányba mutat – $G \sin \varepsilon = 1,7$. Ennek megfelelően a forgatónyomaték:

$$D = 25 \cdot 20 \cdot 1,7 (\kappa_b - \kappa_a) = 850 (\kappa_b - \kappa_a).$$

Amikor azonban az a vég nyugat felé mutat, akkor:

$$D' = -850 (\kappa_b - \kappa_a),$$

illetve

$$D - D' = 1700 (\kappa_b - \kappa_a).$$

Ha $\kappa_b - \kappa_a = 10^{-6}$, akkor:

$$D - D' = 0,0017,$$

és ezen forgatónyomaték hatására a 0,5 torziós állandójú, ezáltal megfelelő teherbíróképességgel rendelkező torziós szál elcsavarodik. A leolvasás 1500 skálaegységnyi távolságból

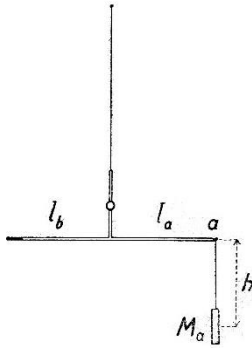
$$n - n' = \frac{0,0017}{0,5} \cdot 3000 = 10,2 \text{ skálaegység lesz.}$$

A dolog azonban nem ennyire egyszerű. A torziós szál elcsavarodását ugyanis nem kizárólag az előbbiekben számított D forgatónyomaték okozza, hanem a nehézségi erő térbeli változása miatt fellépő forgatónyomaték is. Zárt észlelőterekben, különösen pincyszerű helyiségekben ez utóbbi nagyon jelentőssé válhat.¹⁰

Egy, a 4. ábrán bemutatott, vízszintes csőből álló lengőszerkezet esetén, melynek b végére egy M_b súlyt erősítettek, melyet az a végre erősített M_a súllyal kiegyensúlyoztak úgy, hogy M_a tömegközéppontja h értékkel van a b végen lévő súly alatt, Eötvös szerint a nehézségi erő változásai okozta forgatónyomaték:

¹⁰ R. v. Eötvös: Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveaufläche mit Hilfe der Drehwage, Verhandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der Erdmessung in Budapest. 1906. Bd.I. S.337-395.

$$F = \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) K \frac{\sin 2\alpha}{2} + \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} K \cos 2\alpha - \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} M h l \sin \alpha + \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} M h l \cos \alpha$$



4.ábra

Kézirat ²⁶/₂₁

$$\vartheta = \frac{1}{2} \frac{K}{\tau} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{K}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \frac{M_a h l}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha + \frac{M_a h l}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha + \frac{1}{\tau} (\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a) G \sin \epsilon \sin \alpha, \quad (8)$$

τ itt a torziós állandót jelöli.

A (8) egyenlet levezetésekor nem vettük figyelembe azokat a változásokat, melyek az U potenciálfüggvény második deriváltjában a különböző anyagi összetétel miatti eltérő vonzóerők következtében jönnek létre, mivel azok még az utolsó taghoz képest is elhanyagolhatóan kicsinyek. Fontos megjegyezni, hogy az alábbi mennyiséget

$$\sum m_b l_b - \sum m_a l_a$$

már nem tekinthetjük szigorúan nullának, hanem ugyanolyan nagyságrendű marad, mint a

$$\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a$$

Kézirat ²⁶/₂₂

mennyiség, mivel a vízszintes tengely egyensúlyi helyzete esetén teljesülnie kell, hogy:

$$\sum m_b l_b g_b - \sum m_a l_a g_a = 0,$$

valamint a g_b/g_a hányados pusztán egy κ nagyságrendű, λ töredék értékkel tér el az egységnyitől.

A fent ismertetett, mindkét irányban egyenlő hosszúságú, homogén és azonos vastagságú lengő esetén érvényes a következő összefüggés:

$$\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a = M_b l_b \kappa_b - M_a l_a \kappa_a,$$

valamint a $\lambda \kappa_b$ -vel megszorozott tagok elhagyása után:

$$(8') \quad \sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a = M_a l_a (\kappa_b - \kappa_a)$$

A későbbiekben a (8) és (8') egyenlet megmutatja, hogyan lehet az összes további ismeretlen eltávolításával a $(\kappa_b - \kappa_a)$ mennyiségeket mérések alapján meghatározni, és ezáltal megválaszolni azt a kérdést, hogy ezen mennyiségek elérik-e a mérés kimutathatósági határértékét.

Kézirat 27/23

Az ilyen, Eötvös-módszer szerinti kísérletek azonban csak egyetlen test, nevezetesen a Föld gravitációs vonzásáról adnak felvilágosítást. Mindenképpen érdemes megvizsgálni, hogy vajon a Nap és a Hold vonzóereje azáltal, hogy ezek hatásai ténylegesen érzékelhetők az ár-apály jelenségekben és a függőön irányváltozásaiban, hozzájárulhat-e vagy sem kérdéssünk tisztázásához. Egy rövid, elméleti megközelítéssel megpróbálunk választ adni az ár-apály jelenségek összetett kérdésére.

Az úgynevezett ár-apályt létrehozó erő két komponensből áll.

Kézirat 28/24

Az egyik komponense az a gravitációs vonzóerő, amit a Nap vagy a Hold a Föld egyes tömegrészecskéire kifejt, ennek tömegegységre vonatkoztatott nagysága a test súlyponti (baricentrikus) vonzásának feltételezése esetén:

$$= f \frac{M}{q^2}$$

ahol M a Nap vagy a Hold tömegét, q pedig ezek vonzási középpontjától való távolságot jelenti. Ezt a Föld különböző tömegrészecskéire ható – már azok eltérő elhelyezkedése miatt is – mind nagyságát, mind irányát tekintve eltérő erőt, tekintsük a tömegpontok anyagi természetétől, azaz κ -tól függőnek.

A másik, itt fellépő erőkomponens a tehetetlenségnek megfeleltethető centrifugális erő, amely a Föld és a Nap tömegközépontja körüli, illetve a Hold és a Föld tömegközépontja

Kézirat 29/25

körüli forgómozgás következménye. Ennek a Föld tengelykörüli forgásától eltekintve, minden részecskére azonos nagyságú és irányú erőnek, tömegegységre vonatkoztatott értékét C -vel jelöljük.

Mivel a Föld egészére kifejtett vonzóerőnek és a teljes tömegére vonatkozó centrifugális erőnek azonos nagyságúnak kell lennie, felírhatjuk:

$$C = f_0 \frac{M}{D^2}$$

ahol D a Föld tömegközéppontjának távolsága a Nap-Föld rendszer, illetve a Föld-Hold rendszer tömegközéppontjától. Az f_0 kifejezés a Föld különböző anyagú összetevőihöz tartozó, esetlegesen különböző f gravitációs állandók átlagértéke.

Ezen megfontolásoknak megfelelően, és a Föld alakját gömbbel közelítve, földi koordináta-rendszerben, az erők két komponensét a következőképpen fejezhetjük ki (lásd 5. ábra):

Kézirat 30/26

egy felfelé mutató, függőleges irányú komponens:

$$-Z = f \frac{M}{D^2} \cos \zeta - C \cos \zeta + f M \frac{a}{D^3} (2 \cos^2 \zeta - \sin^2 \zeta)^{11},$$

és egy vízszintes irányú komponens:

$$H = f \frac{M}{D^2} \sin \zeta - C \sin \zeta + \frac{3}{2} f M \frac{a}{D^3} \sin 2\zeta.$$



5. ábra

Ezekben az egyenletekben ζ a Nap, illetve a Hold zenittávolságát és a a Földsugár középértékét jelenti. H a horizont azon pontjára mutat, ahol a Naphoz ill. a Holdhoz húzott egyenesen átmenő függőleges sík a horizontot elmetshi, és amire fennáll:

$$\zeta = +\frac{\pi}{2}.$$

Az itt megadott közelítő számítások teljeskörű levezetése túllépné jelen értekezés kereteit.

Ha feltételezzük, hogy $f = f_0(1 + \kappa)$,

akkor:

$$-Z = \kappa f_0 \frac{M}{D^2} \cos \zeta + f M \frac{a}{D^3} (2 \cos^2 \zeta - \sin^2 \zeta), \quad (9)$$

$$H = \kappa f_0 \frac{M}{D^2} \sin \zeta + \frac{3}{2} f M \frac{a}{D^3} \sin 2\zeta. \quad (10)$$

¹¹ Eötvös a (9) és (10) egyenletben ϑ -t használ, de később áttér ζ használatára. Mind a nyomtatott német verzióban, mind a korábbi, angol nyelvű fordításában ζ jelölést használnak, így mi is ezt tesszük.

Ha $\kappa=0$, akkor ezek az árapályt létrehozó erők szokásos komponensei (lásd pl.: B. Thomson-Tait, Handbuch der Theor. Physik I Bd. § 812).

Kézirat 31/27

Ha azonban κ nullától eltér, akkor az egyenleteink második kifejezéseinek megfelelő, félnapos árapály perióduson túl megjelenik az első kifejezésnek megfelelő, egész napos árapály hatás is.

Ha $\zeta = 0$, akkor:

$$-Z = \kappa f_0 \frac{M}{D^2} + 2 f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D}$$

és amennyiben $\zeta = \pi$, akkor:

$$-Z = -\kappa f_0 \frac{M}{D^2} + 2 f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D}.$$

Ekkor az első és a második tagok aránya $\kappa: 2\frac{a}{D}$. Mivel a Nap és a Föld esetére $\frac{a}{D} = \frac{1}{23600}$; illetve a Hold és a Föld esetén $\frac{a}{D} = \frac{1}{60,27}$; ebből az következik, hogy κ -nak $\frac{1}{11800}$ értéket kell felvenni ahhoz, hogy először megkétszerezze, majd fél nap múltán teljesen eltüntesse a Nap árapály hatását, valamint nem vehet fel $\frac{1}{30}$ -nál kisebb értéket ahhoz, hogy ugyanezt a hatást a félnapos holdi árapály esetén is elérjük.

Kézirat 32/28

Tételezzük fel, hogy a $-Z$ erő, nagysága századrésznyi pontossággal meghatározható az árapály jelenségekből, akkor a Nap árapály jelenségeinek megfigyelésével κ együtthető 10^{-6} -nál nagyobb értékeit kapjuk meg, vagyis az egység egymilliomodnyi részeit. A Nap vonzóerejéből fakadó, 24 órás árapály jelenség ennnyire pontos megfigyelése azonban nehezen képzelhető el, mert nehezen különíthető el a Napsugárzás azonos periódusidővel jelentkező hatásaitól¹².

A (9) és (10) egyenlet jobban használható torziós ingával végzett mérésekben. Állítsunk fel egy fentebb ismertetett típusú ingát úgy, hogy az ingakar azimutja $\alpha=0$ legyen, azaz az ingakar tengelye essen a meridiánba, és a vége mutasson északi irányba. Ekkor két külső forgatónyomaték hat rá: ezek egyike a Föld nehézségi erejéből ered, és az ingadrót időben állandó, ϑ_0 elfordulását okozza, a másik

¹² Valószínűleg a hőmérséklet-változás okozta deformációkra utal a szerző (Szerkesztő megjegyzése).

pedig megfeleltethető az időfüggő Herőnek, melynek nagysága a (10) egyenlettel adható meg.

Kézirat 33/29

Amennyiben A a Nap vagy a Hold azimutját jelenti, akkor a Herőnek az ingakar tengelyére merőleges komponense pontosan

$$-H \sin A,$$

és a torziós szál elfordulására a következőt kapjuk:

$$\begin{aligned} \vartheta = \vartheta_0 - \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \{ \sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b \} \sin \zeta \sin A - \\ - \frac{3}{2} \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} \{ \sum m_a l_a - \sum m_b l_b \} \sin 2 \zeta \sin A - \\ - \frac{3}{2} \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} \{ \sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b \} \sin 2 \zeta \sin A \end{aligned} \quad (11)$$

A fenti egyenlet jobb oldalának utolsó tagja a kicsiny a/D hányados miatt elhagyható, ugyanúgy, ahogy az előtte lévő kifejezés is, mivel a

$$\sum m_a l_a - \sum m_b l_b$$

nagyságrendje megegyezik

$$\sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b$$

nagyságrendjével, így használhatjuk az alábbi közelítő képletet:

$$\vartheta = \vartheta_0 - \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \{ \sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b \} \sin \zeta \sin A. \quad (12)$$

Kézirat 34/30

Egy példa segítségével világossá tehetjük, milyen mértékű és mérhetőségű az elfordulás szöge, 9. Használjuk az előző példában bemutatott műszert, amire fennáll:

$$\sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b = M_a l_a (\kappa_a - \kappa_b)$$

és legyen:

$$M_a = 25 \text{ g}; \quad l_a = 20 \text{ cm}; \quad \tau = 0,5.$$

Legyen továbbá

$$\text{a Nap esetén:} \quad f_0 \frac{M}{D^2} = 0,586;$$

$$\text{a Hold esetén:} \quad f_0 \frac{M}{D^2} = 0,00332.$$

Ekkor a Nap vonzásából fakadó elfordulási szögre:

$$\vartheta = \vartheta_0 - 586 (\kappa_a - \kappa_b) \sin \zeta \sin A$$

míg a Hold vonzásából fakadó forgásszögre:

$$\vartheta = \vartheta_0 - 3,32 (\kappa_a - \kappa_b) \sin \zeta \sin A$$

értéket kapunk.

A továbbiakban alapvetően csak¹³ az első esettel kívánunk foglalkozni, mivel a második esetben annyival kisebb értéket kapunk, hogy jelentősége elenyészően csekély az elsőhöz viszonyítva.

Ha $(\kappa_a - \kappa_b)$ nullától eltérő, pozitív szám, illetve, ha a rúd északi végére függesztett M_a súly egységnyi tömegére a Nap nagyobb vonzóerőt fejt ki, mint az M_b egységnyi tömegére, akkor az ingakarnak olyan napi járása lesz, melynek során a rúd a vége napkeltekor keleti irányba, napnyugtakor pedig nyugati irányba tér ki a nyugalmi helyzetből.

Mivel napkelte és napnyugta esetén $\sin \zeta = 1$, ezen kitérés nagysága:

Kézirat 36/31

$$\vartheta - \vartheta' = 586 (\kappa_a - \kappa_b) \sin A' - \sin A,$$

továbbá abban az esetben, ha

$$\sin A' - \sin A = 2,$$

ahogy a tavaszi és őszi napéjegyenlőség esetén közelítőleg fennáll, akkor

$$\vartheta - \vartheta' = 1172 (\kappa_a - \kappa_b),$$

vagy skálaegységben kifejezve, 1500 skálarész távolságból

$$n - n' = 3516000 (\kappa_a - \kappa_b).$$

$(\kappa_a - \kappa_b) = 1 \cdot 10^{-6}$ esetén a kitérésre az alábbi értéket kapjuk:

$$n - n' = 3,5.$$

Az ezen megfontolásokra alapozott mérési módszer pontossága

Kézirat 37/32

csak kb. a harmada az Eötvös által megadott értéknek, mindaddig, amíg ugyanazt a műszert használjuk. Előnye viszont, hogy a méréseket mozdulatlan műszerrel végezzük, és ezáltal sokkal nagyobb érzékenységet alkalmazhatunk. Az Eötvös-féle gravitációs kompenzátorral¹⁴ lehetővé válik a zavaró hatások kizárása, ezáltal az ilyen stabil torziós inga érzékenysége tetszőleges határig növelhető.

Egyébként a két módszer oly módon egészíti ki egymást, hogy egyik a Föld, a másik a Nap vonzásáról nyújtja a kívánt információt.

¹³ A kéziratból itt nyilvánvalóan hiányzik egy oldal

¹⁴ Eötvös: Vizsgálatok a gravitatio és a mágnesség köréből (1896) Math. és Term. Tud. Ért. XIV. pp. 221 – 266.

3. Eötvös mérési módszerének részletes ismertetése

Két azonos, Eötvös által a nehézségi erő lokális változásainak vizsgálatához használt műszert alkalmaztunk, amelyet először az Internationale Erdmessung Budapesten tartott XV. Konferenciáján¹⁵ ismertetett. Ezek olyan, nagy érzékenyséű torziós ingák, amelyek egy függőleges tengely körül elfordíthatók, tehát az itt bemutatott vizsgálatokra alkalmasak.¹⁶ A 6. ábrán az Eötvös-féle, egyszerű nehézségi variométernek nevezett műszer függőleges keresztmetszetét láthatjuk¹⁷.

A burkolat 3 mm vastag sárgaréz lemezből és azonos vastagságú Kézirat 39/34 rudakból készült, mely a lengő felső részét két-, az alsó, lelógó részét három rétegben veszi körül. Ezt a burkolatot egy stabil állványra rögzítették úgy, hogy egy függőlegesre állítható tengely körül forgatható legyen. Az elfordítási azimut egy nóniusszal ellátott, egyharmad fok osztásközű körskálán maximum egy perc pontossággal olvasható le.

A lengő egy vékonyfalú, kb. 40 cm hosszú és 0,5 cm átmérőjű részcsőből áll, amelynek b végébe egy kb. 30 g súlyú platinahengert töltünk, míg a másik (a) végére a különböző vizsgálandó testeket egy vékony dróton függesztettük fel. A próbatest súlyát mindig úgy választottuk meg, hogy a másik végén konstans súlyt tartalmazó ingarúd ugyanabba a vízszintes pozícióba kerüljön. A felfüggesztéskor arra törekedtünk, hogy a test tömegközéppontja

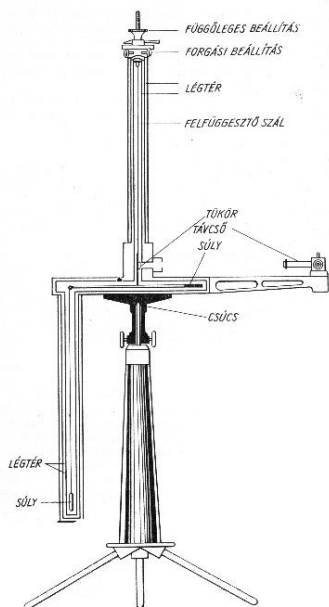
Kézirat 40/35

kb. 21 cm-rel az ingakar tengelye alá kerüljön. Mivel ezen h távolság pontosabb ismerete a kísérletek egy részénél különösen fontos, a katetométer mellett egy célszerűen beszerelt mérleget is alkalmaztunk. Ennek segítségével meghatározható az akár többféle anyagból álló próbatest tömegközéppontjának helyzete A h -ra elért pontosság hozzávetőleg 0,1 milliméter, ami több, mint megfelelő. Az ingakar pozíciójának meghatározása egy ráerősített tükör és a

¹⁵ Behandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der Erdmessung (1906), Band I.

¹⁶ A következő hosszú rész (9 teljes kéziratoldal) hiányzik a nyomtatott cikkből.

¹⁷ A kéziratban Eötvös felvázolta az inga vízszintes keresztmetszetét is (7. ábrának nevezve), de a vázlat olyan gyenge minőségű, hogy nem lehetett rekonstruálni (a szerkesztő megjegyzése)



műszerháztól 60 cm távolságra a házhoz rögzített, fél milliméter osztásközű skála segítségével történik. A leolvasáshoz egy rövid távcsövet használunk annak érdekében, hogy a műszer a lehető legkisebb helyen is felállítható és működtethető legyen.

6.ábra

Kézirat 41/36

Az összesen hozzávetőleg 80 g tömegű lengő felfüggesztéséhez 0,04 mm átmérőjű, és mintegy 60 cm hosszúságú, platina-irídium anyagból készült torziós szálát használtunk. A kb. 80 g súllyal terhelt drótszalakat lassan felmelegítettük 100°C fölé, majd visszahűtöttük, ezután az eljárást többször megismételve, néhány hónap elteltével, sikerült elérni egy szinte teljesen állandó egyensúlyi állapotot. Még a műszer forgatásakor fellépő erőteljes rezgések, a torziós szálak excentrikus helyzete ellenére sem okoznak észlelhető hatást, csak néhány esetben fordult elő az egyensúlyi helyzet nagyon kicsiny mértékű eltérése. A kvarcszalakkal végzett kísérletek messze nem hoztak ilyen jó eredményeket.

Kézirat 42/37

A megterhelt fémszál egyensúlyi helyzete azonban függ a hőmérséklettől. Ez a felerősítésnél létrejövő maradék torciónak a következménye, és így eltérő minden egyes drótszál esetén. Ez a hőmérsékletfüggés nagyon összetett, ugyanis az egyensúlyi helyzet nem csak magától a hőmérsékletváltozástól, hanem annak időbeli lefolyásától is függ. Olyan kismértékű és lassú hőmérséklet-ingadozások esetén, mint amelyek az itt bemutatandó mérések során felléptek, amikor a napi hőmérséklet-változás nem lépte át az egytized fokot, az egyensúlyi helyzettől való ilyen eltérést leírhatjuk torziós szálanként meghatározott hőmérsékleti

együttható segítségével. Az általunk használt, egyszerű nehézségi variométer torziós szála esetén ez az együttható $\frac{\partial n}{\partial t} = 0,4$, ahol n az egyensúlyi helyzethez tartozó skálaértéket és t a Celsius fokban mért hőmérsékletet jelenti.

Kézirat 43/38

A mérésekhez használt másik műszerhez tartozó torziós szál esetén ez az érték még sokkal kisebb volt. Ezt a másik műszert Eötvös kettős nehézségi variométernek nevezte el, mivel ez két, egymással párhuzamosan elhelyezett, közös állványra szerelt lengőszerkezetből áll, melyek azonos tengely körül forgathatók. Ez a két egyszerű lengőszerkezet azonos az egyszerű nehézségi variométerben találhatóval, az ingakarok közel párhuzamosan vannak elhelyezve oly módon, hogy a felfüggesztett súlyok (M_a) az egymással szemben lévő végekre kerültek. Vagyis, ha az egyik ingakar függesztett súlyt tartó vége észak felé mutat, akkor a másiké dél felé stb.

Kézirat 44/39

Ezidáig az Eötvös által megadottakat követtük, ám a mérések végrehajtása során sikerült műszerünket egy egyszerű eszközzel sokkal hatékonyabbá tennünk. Miután mérési eljárásunk során az ingakar egyensúlyi helyzetét annak nyugalmi állapotában olvassuk le, egy forgatás utáni egyensúlyhelyzet-meghatározáshoz az ingakar mozgásával szembeni ellenállástól függő időre van szükség. Eredetileg két, egymást követő beállítás leolvasása közti várakozási idő két óra, sőt néhány esetben akár több, mint három óra is volt. Egyszerű számításokkal azonban, melyek levezetésének itt aligha van helye, kimutattuk, hogy ez az időtartam megbíz-

Kézirat 45/40

hatóan egy órára csökkenthető, ha az ingakarok mozgása ellen fellépő ellenhatást egyenlővé tesszük azzal a legkisebb ellenállással, ami a mozgást aperiodikussá teszi. Ezt a kívánt ellenállás-növekedést úgy értük el, hogy megfelelő vastagságú rézlemezeket helyeztünk el a belső burkolat alján és fedőrészén. Ezáltal a műszerház ezen részének belmérete 9 mm-re csökkent. Miután behelyeztük ezeket a lemezeket, a korábbinál kétszer, sőt akár háromszor annyi mérést tudtunk végezni ugyanazon idő alatt.

Ilyen érzékeny műszer használatához rezgésmentes környezet szükséges, amit lehetőleg védeni kell a hőmérséklet-változásoktól

és különösen az egyirányú hőszigeteléstől. Ezek a feltételek leginkább ablak nélküli pincehelyiségekben teljesülnek. Sajnos ilyen nem állt rendelkezésünkre. Az idő sürgetett, így meg kellett elégednünk mérési helyszínként a rendelkezésünkre álló laboratórium két délre néző ablakkal bíró előterével. A szemben álló magas épület a nap nagy részében leárnyékolta ezeket az ablakokat, ahogy a redőnyök is, így a szoba mindig sötétben maradt. A teljeskörű védelem érdekében minden egyes műszer köré kis házikót emeltünk, két keretre feszített, erős vászonból készült,

finom fűrészporral kitöltött és lesteppelt fallal.

Mivel a helyiség, ahol a megfigyeléseinket végeztük, az utcai közlekedéstől távol feküdt, kezdetben nem volt okunk zavaró rezgések miatti aggodalomra, sajnos azonban a feltételek elromlottak egy a mérés helyszínének közvetlen közelében kezdődő építkezés miatt. Bár ezen zavaró hatások nem jelentek meg észrevehető módon mérési eredményeinkben, de nagyon is tudatában vagyunk annak, hogy az itt közzétett méréseket nem a legmegfelelőbb körülmények között végeztük, és úgy gondoljuk,

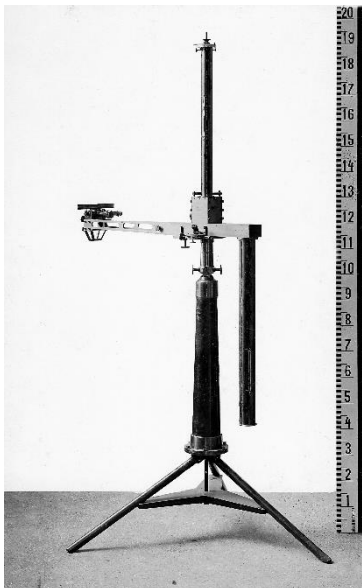
nem ezek a műszerünkkel elérhető legjobb eredmények. Ennek ellenére: „Ars longa, vita brevis” – meg kell elégednünk azzal, hogy egy lépést tettünk előre.¹⁸

Ezen rövid értekezés keretei közt nem tudjuk megadni a műszerek részletes leírását, csak bemutatjuk az egyszerű Eötvös-inga keresztmetszetét (6. ábra), valamint az egyszerű és a kettős nehézségi variométer régebbi modelljét (7. és 8. ábra), ahogyan akkoriban mindkét műszert használtuk.

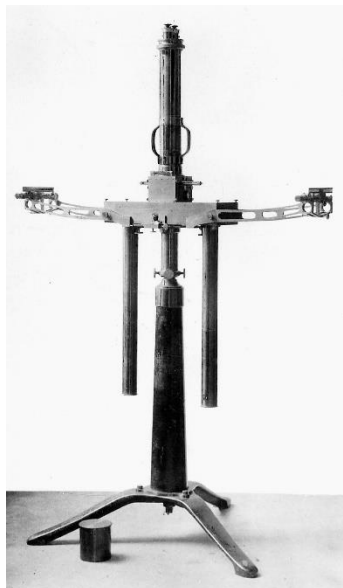
Az előző fejezet megfontolásai az elvégzendő kísérletek alapjául szolgálnak, és azt feltételezik, hogy a torziós inga lengőjét semmilyen más hatás nem éri, mint egyrészt az ingán kívüli tömegek által keltett tehetetlenség és gravitációs vonzóerő, másrészt a torziós számban az elfordulással szemben ható rugalmas erő.

Az összes további hatás teljes kizárásához előzetesen ismernünk kellene a természetben fellépő összes erőt. Bár ez az

¹⁸ A fenti hosszú leírást a nyomtatott szövegben az alábbi rövid bekezdéssel helyettesítették



7. ábra



8. ábra

Kézirat 49/44

emberiség számára nagy valószínűséggel soha nem érhető el, de legalább törekednünk kell minden, jelenlegi ismereteink szerint fellépő zavaró hatás kizárására.

A következőkben felsoroljuk és jellemezzük a legfontosabb zavarforrásokat, és leírjuk, hogyan próbáltuk meg ezek méréseinkre gyakorolt káros hatásait semlegesíteni.

A mágneses erők, különösképpen a földi mágneses tér hatásai, mindenképpen érzékelhetők, ha a lengő remanens mágneses összetevőt tartalmaz. Egy csupán $1/1000$ CGS mágneses momentummal rendelkező részecske, mint egy jóminőségű acélmágnesből származó, nem több mint $1/50$ milligramm súlyú darabka, az ingakar átfordításakor két teljes skálaosztásnyi eltolódást is okozhat. A felhasznált egységek gondos megválasztásával készíthetünk olyan lengőt, amely az adott nagy

Kézirat 50/45

érzékenység ellenére is mágnesezettséggel nem rendelkezőnek tekinthető, azonban kísérleteinkben ezt a zavaró körülményt más módon is ki kellett küszöbölni, hiszen a felfüggesztett részeket többször újakra cseréltük. Ezért a földi mágneses tér hatásának horizontális komponensét permanens mágnesek és elektromágnesek segítségével úgy kompenzáltuk, hogy H mindegyik inga környezetében közel nullává vált. Ezeket a kiegyenlítő mágneseket azonban úgy kellett a műszerektől távol (kb. $1,4$ m távolságban)

elrendezni, hogy azok ne hozzanak létre érzékelhető mértékű transzlációs erőt a földi mágneses tér függőleges komponense miatt a lengő által keltett ideiglenes mágneses térben. Az olyan, részleteiben ismert erőnél, mint a mágneses erő, könnyű volt zavaró hatásait kiküszöbölni.

Kézirat 51/46

Ugyanezt mondhatjuk el a külső testek elektrosztatikus hatásairól, melyeket az inga háromrétegű fémburkolata teljes mértékben semlegesít.

Ezzel szemben figyelembe kell vennünk azokat az elektrosztatikus erőket, amelyek a lengő és az azt körülzáró, eltérő anyagból készült burkolat között lépnek fel. Ha a lengő egyes részeinek felületén és az azt körülvevő burkolat felületén lévő elektromos töltés eltérő előjelű, akkor olyan elektrosztatikus erők lépnek fel, amelyek szimmetrikus középelrendezés esetén gyakorlatilag nullának tekinthetők, az ettől való eltérés esetén azonban észlelhetővé válnak. Ezeket az erőket mindenképpen azonosítani kell, mivel befolyásolják a műszer érzékenységet azáltal, hogy a nehézségi erő ellenében ható torziós nyomatékot τ_0 értékről τ'_0 értékre változtatják.

Kézirat 52/47

A különböző felületeken fellépő eltérő elektromos töltések okozta hatások kiküszöbölésére egyenletes korombevonatot vittünk fel rájuk, amely döntést később ismertetendő indokok is alátámasztottak. Kidolgoztunk továbbá egy olyan mérési eljárást, melynek eredményeit nem befolyásolták a τ' kisebb eltérései.

A külső testek sugárzásából származó közvetlen hatásokról nincs elegendő ismeretünk. Az ingaház többrétegű fala azonban segítségünkre van abban, hogy ezen ismeretlen hatásokat a minimálisra csökkentsük. Emellett a berendezés méreteit is ennek megfelelően választottuk meg, ezáltal biztosítva a kisebb és könnyebb műszerház használatát, arra törekedve, hogy a tömeggel arányos, mérendő erő a lehető legnagyobb legyen a felülettel arányos nagyságú, esetlegesen fellépő erőkhöz viszonyítva. Műszerünk használatakor ezek a zavaró hatások minden bizony-

Kézirat 53/48

nyal nagyon kicsinyek, és előfordulásuk véletlenszerűen adódik hozzá minden mérési sorozathoz.

A burkolat különböző részei és a lengő eltérő hőmérsékletéből fakadó hatások. A külső hőmérséklet-ingadozás következtében a műszer irányába történő hőszugárzás és hővezetés, valamint a műszer hőfelvétele, alkatrészei és a közbezárt levegő egyenletlen hőmérséklet-eloszlását okozza. A többréteges fémburkolat arra szolgál, hogy ezeket a hatásokat a lehető legkisebbre csökkentse, mint az összes belső alkatrész korábban már említett korombevonata is. Ha feltételezzük, hogy ezáltal az ingakarok középállására fektetett függőleges sík két oldalán szimmetrikus hőmérséklet-eloszlás jön létre, akkor a műszer érzékenysége, illetve a torziós állandót helyettesítő r' nagysága pontosan annak

Kézirat 54/49

megfelelően fog változni, ahogy azt már a belső elektrosztatikus erők kapcsán leírtuk. A minden védelmi intézkedés ellenére nyomokban megjelenő, aszimmetrikus felmelegedés véletlenszerűnek tekinthető.

A torziós szál hőmérséklet-ingadozása – a korábban elmondottaknak megfelelően – amennyiben kismértékű és lassú lefolyású, akkor egyedi koefficiensként vehető figyelembe, vagy egy megfelelően választott mérési eljárással akár el is hanyagolható.

A mechanikus rezgések sem teljesen hatásmentesek. Mivel a terhelt torziós szálban fennálló maradék torziós hatás miatt az inga egyensúlyi helyzete a terheléssel változik, a vertikális impulzusok az ingakarok kitérését okozzák. Ez a kitérés azonban megszokott utcai közlekedési rezgések esetén végtelenül kicsiny, csak földrengések esetén válik érzékelhetővé, akkor viszont több

Kézirat 55/50

skálaosztásnyi értékkel jelentkezik. Azonos műszerrel, több éven át végzett mérések után ilyen módon néhány olyan földrengés kipattanásáról szereztünk tudomást, melyek később a szeizmológiai jelentésekben megerősítést nyertek. Az ilyen, könnyen felismerhető, kivételes esetek nincsenek hatással a mérések egészére.

A lehetséges zavaró hatások sorában végül át kell gondolnunk a környezet tömegeloszlásának változásai következtében a nehézségi potenciál második deriváltjaiban, különösen a $\partial^2 U / \partial x \partial z$ és $\partial^2 U / \partial y \partial z$ tagokban fellépő hatásokat, amelyek bár kicsi, de már mérhető értékeket is felvehetnek. Az épületben lévő tárgyak helyének változását aligha kell figyelembe vennünk, sokkal inkább az esőzések után az épületen kívüli vízfelhalmozódást.

Kézirat 56/51

Számításaink szerint az épület körüli egy centiméter magas vízszintváltozásnak az egyensúlyi helyzetre gyakorolt hatása hozzávetőleg egy század skálaosztás. Az ilyen változásokra vonatkozó méréseket szisztematikusan el kellene végezni, de ezidáig erre még nem tudtunk időt szakítani. Mérési eredményeink egy része azonban mentes volt ezektől a hatásoktól.

Méréseink és az azokhoz kapcsolódó – ezen összes körülményt figyelembe vevő – számítások módszertana munkánk során fejlődött és teljesebbé vált. Az idő rövidsége miatt nem volt lehetőségünk arra, hogy mindent a legjobb, egyben leginkább időigényes módon, vigyünk véghez. Az itt közzétett eredményeket három különböző módszerrel állítottuk elő, amelyeket egymástól I., II. és¹⁹ III. jelöléssel különböztettünk meg.

Az első eljárásnál feltételezzük, hogy a $\partial^2 U / \partial x \partial z$ és $\partial^2 U / \partial y \partial z$ deriváltak állandók, ugyan úgy, mint a műszer érzékenysége, tehát a τ is változatlan.

A második eljárás azon alapul, hogy az elsővel azonosan a $\partial^2 U / \partial x \partial z$ és $\partial^2 U / \partial y \partial z$ deriváltak állandók, de megadja annak a lehetőségét, hogy a kísérletek során τ eltérő legyen a különböző lengők esetén, valamint τ időbeli folyamatos változását is megengedi.

A harmadik, legáltalánosabb eljárásnál megszabadultunk a $\partial^2 U / \partial x \partial z$ és $\partial^2 U / \partial y \partial z$ deriváltak konstans voltának kikötésétől, és τ változását is megengedjük.

Mindhárom módszer a (8) és (8') egyenletet veszi alapul, melyeket úgy kívánunk egyesíteni és átformálni, hogy ϑ helyére az alábbi kifejezést írjuk:

$$\vartheta = \frac{n_0 - n}{2L}$$

Kézirat 58/52

ahol n az egyensúlyi helyzetben leolvasott skálaértéket, n_0 egy állandót és L a skálaosztásban mért skálatávolságot jelenti. Így megkapjuk:

$$\begin{aligned} n_0 - n = & \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha + \\ (13) \quad & + \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha + \frac{2L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_b - \kappa_a) \sin \alpha. \end{aligned}$$

Minden mérésünket négy ingaállásban végeztük, amelyeket az ingarúd a végének iránya szerint jelöltünk meg: az északit \acute{E} , a keletit K , a délit D és a nyugatit N_y , illetve ennek megfelelően a skálaleolvasásokat: $n_{\acute{E}}$, n_K , n_D , n_{N_y} . betűkkel. A mágneses deklináció ismeretében az északi irányt legkönnyebben egy tájoló segítségével

Kézirat 59/53

állapíthatjuk meg; ebből az állásból kiindulva aztán a továbbiak a műszerház egymás utáni 90° -os elforgatásával érhetők el. Ezen állásokban azonban az ingakar tengelye nem minden esetben

¹⁹ A kézirat 57. oldala hiányzik

mutat pontosan a négy égtáj felé. Jelölje $\Delta\alpha$ az ingakar tengelyének északtól kelet felé való eltérését eredetileg északi tájolás esetén, akkor a következő értékeket kapjuk a négyféle iránynak megfelelően:

$$\begin{aligned} \acute{E}\text{-i állás} & \quad \alpha_{\acute{E}} = \Delta\alpha, \\ K\text{-i állás} & \quad \alpha_K = \Delta\alpha + \frac{n_{\acute{E}} - n_K}{2L} + \frac{\pi}{2}, \\ D\text{-i állás} & \quad \alpha_D = \Delta\alpha + \frac{n_{\acute{E}} - n_D}{2L} + \pi, \\ Ny\text{-i állás} & \quad \alpha_{Ny} = \Delta\alpha + \frac{n_{\acute{E}} - n_{Ny}}{2L} + \frac{3\pi}{2}. \end{aligned}$$

Ha figyelembe vesszük, hogy $\Delta\alpha$, és $\frac{n_{\acute{E}} - n_D}{2L}$ értékek nagyon kicsik, akkor a (13) egyenlet a négy azimutra közelítőleg így számítható²⁰:

$$n_0 - n_{\acute{E}} = \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) 2 \Delta\alpha + \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} - \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \Delta\alpha + \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z};$$

$$\begin{aligned} n_0 - n_K = & -\frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) 2 \left(\Delta\alpha + \frac{n_N - n_O}{2L} \right) - \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} - \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} - \\ & - \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \left(\Delta\alpha + \frac{n_N - n_O}{2L} \right) + \frac{2L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_b - \kappa_a), \end{aligned}$$

$$n_0 - n_D = \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) 2 \left(\Delta\alpha + \frac{n_N - n_S}{2L} \right) + \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} +$$

$$\frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \left(\Delta\alpha + \frac{n_N - n_S}{2L} \right) - \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z},$$

$$n_0 - n_{Ny} = -\frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) 2 \left(\Delta\alpha + \frac{n_N - n_W}{2L} \right) - \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} + \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} +$$

$$+ \frac{2L}{\tau} K M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \left(\Delta\alpha + \frac{n_N - n_W}{2L} \right) - \frac{2L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_b - \kappa_a).$$

Ezt követően legyen:

$$n_{\acute{E}} - n_D = m \quad \text{és} \quad n_K - n_{Ny} = v,$$

és alapegyenletként használjuk a következőket:

$$m = \frac{4L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} + \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \frac{n_{\acute{E}} - n_D}{L} + \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \left(2\Delta\alpha + \frac{n_{\acute{E}} - n_D}{L} \right) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} v = & + \frac{4L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} - \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \frac{n_K - n_{Ny}}{L} + \\ & + \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \left(2\Delta\alpha + \frac{n_{\acute{E}} - n_K - n_{Ny}}{2L} \right) + \frac{4L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_b - \kappa_a). \end{aligned} \quad (15)$$

²⁰ A kézirat 60. oldala hiányzik

Az egyenletekben műszerállandóként szerepelő konstansokat az Eötvös által megadott módszerrel határoztuk meg²¹. A következő táblázat összefoglalja az általunk használt egyszerű nehézségi variométer és a kettős nehézségi variométer I. és II. lengőjére kapott értékeket, ahol M_a^* és h^* átlagértékeket jelölnek, melyeket az egyes méréseknél ennél pontosabb értékekkel helyettesítettünk.

	τ	κ/τ	L	l_a	M_a^*	h^*	$G \sin \varepsilon$
Egyszerű inga	0,5035	41896	1232	20	25,4	21,2	1,6858
Kettős inga I. lengője	0,5073	43081	1258	20	25,4	21,2	1,6858
II. lengője	0,5116	43849	1258	20	25,8	21,2	1,6858

4. Mérések és adatfeldolgozás az (I) eljárás szerint, amely konstans nehézségi erőter és érzékenység (τ) feltételezésén alapul

Egyetlen torziós ingát használtunk, tehát vagy az egyszerű nehézségi variométert, vagy a kettős inga egyikét. A b véget mindig ugyanazzal a rúdca becsúsztatott platinadarabbal terheltük. Az a véget a már korábban megadott módon terheltük a vizsgálat tárgyát képező (pl. platina) testtel és tájoló segítségével, osztott körlap mentén rögzítettük a műszert közelítőleg északi állásban (az a vég északra mutat). A megengedett eltérés, azaz a $\Delta\alpha$ értéke itt néhány fokot elérhetett.

Ezek után a műszert rendszeres időközönként felváltva két olyan helyzetbe állítottuk, amelyek a közelítőleg megadott északi iránytól 90° , illetve 270° fokkal tértek el, és amelyeket keleti, ill. nyugati állásnak neveztünk. Az egyensúlyi helyzetben végzett leolvasásokból képezve kapjuk:

$$v = n_K - n_{Ny}$$

úgy, hogy az egyes helyzetek közti különbséget (v) a közvetlenül megelőző, és az azt követő, ellentétes helyzetben lévő állások középértékéből képeztük. Az egyszerű nehézségi variométernél a hőmérsékleti állandó értékével (0,4) redukált n -t használtunk.

²¹ Abhandlungen der XV. A. Conf. v. Erdmessung

Hasonlóképpen határozzuk meg m értékét ugyanarra a testre (pl. platinára), azonban ez kevés méréssel is elérhető, mivel ennél az eljárásnál ennek közelítő ismerete is elegendő.

Kézirat 64/57

Miután egy ilyen testre elvégeztük a méréseket, az a végre egy, az előbbihez hasonló súlyú másik testet függesztettünk (például magnáliumot²²), és meghatároztuk a hozzá tartozó v' és m' értéket. Mivel a súlyokat csak az eszköz arretálása után cserélhetjük, az eredeti északi álláshoz képest elkerülhetetlenül keletkezik egy kicsiny eltérés. Ezért $\Delta\alpha$ helyére $\Delta\alpha'$ -t írunk. A $\Delta\alpha - \Delta\alpha'$ különbség mérhető, de nagysága alig éri el az 1/1000 skálaértéket.

Tekintsük úgy, hogy a több hétig tartó méréssorozat teljes időtartama alatt a τ mennyiség és a gravitációs potenciál második deriváltja is állandó volt, akkor a $(\kappa_a - \kappa'_a)$ vagyis a két súly tömegvonzási együtthatói közti különbség (például platina és magnálium), kiszámításához a (15) egyenletnek megfelelően kapjuk:

$$v - v' = \frac{4L}{\tau} M_a l_a \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} (h - h') + \frac{4L}{\tau} M_a l_a \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} (h \Delta\alpha - h' \Delta\alpha') + \frac{4L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a)$$

ahol a
$$\left\{ \left(\frac{n_K - n_{Ny}}{L} \right) - \left(\frac{n_K - n_{Ny}}{L} \right)' \right\}$$

kifejezéshez hasonló értékekkel szorzott tagokról feltételeztük, hogy elhanyagolhatóan kicsinyek.

Ez a kifejezés még tovább egyszerűsíthető, ha a kicsiny, másodfokú tagoktól eltekintünk. Ekkor:

$$v - v' = v \frac{h - h'}{h} - m (\Delta\alpha - \Delta\alpha') + \frac{4L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_b - \kappa'_a), \quad (16)$$

tehát:

$$\kappa_a - \kappa'_a = \frac{\tau}{4 L M_a l_a G \sin \varepsilon} (v - v') + \frac{m (\Delta\alpha - \Delta\alpha') - v \frac{h - h'}{h}}{4 L M_a l_a G \sin \varepsilon} \tau. \quad (17)$$

²² Magnalium egy magnézium-alumínium ötvözet; a tipikus Al:Mg arány a 95:5 – 70:30 tartományban.

$a)^{23}A (\kappa_{\text{magnátium}} - \kappa_{\text{platina}})$ különbségre vonatkozó méréseket az első eljárás szerint, az egyszerű nehézségi variométerrel végeztük.

Első kísérletsorozat

Az ingarúd a végére egy 11,92 cm hosszú és 1,01 cm átmérőjű magnátium hengert függesztettünk fel egy 0,09 mm vastag réz-bronz szálon. Ekkor:

$$M_a = 25,402 \text{ g}, \quad h = 21,20 \text{ cm volt.}$$

A mérés során kapott 114 db v értékből számított középérték:

$$v = +1,983 \pm 0,008,$$

illetve a mért 64 db m érték átlaga:

$$m = +8,138 \pm 0,009.$$

Második kísérletsorozat

Az ingarúd a végére egy 6,01 cm hosszúságú és 0,50 cm átmérőjű platinahengert függesztettünk. Ekkor:

$$M'_a = 25,430 \text{ g}, \quad h' = 21,24 \text{ cm volt.}$$

A mérésekkel kapott 48 db m' és 56 db v' érték középértéke:

$$m' = +7,534 \pm 0,004 \quad \text{és} \quad v' = +1,799 \pm 0,006.$$

A $(\kappa_{\text{Magn}} - \kappa_{\text{Pt}})$ (17) kifejezés szerinti kiszámításához legyen M_a a két kísérletsorozatban használt tömeg középértéke: 25,416 g. A korábban megadott műszerállandók felhasználásával kapjuk:

$$\frac{\tau}{4 L M_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,1192 \cdot 10^{-6}.$$

Az északi műszerállásban végzett leolvasások közelítőleg

$$n = 209,5 \quad \text{és} \quad n' = 206,5$$

voltak, melyek felhasználásával:

$$\Delta\alpha - \Delta\alpha' = \frac{n' - n}{2L} = -\frac{3}{2464} = -0,0012$$

és $m = +7,84$ átlagértékkel:

$$m (\Delta\alpha - \Delta\alpha') = -0,009.$$

Mivel:

$$\frac{h - h'}{h} = -0,0002,$$

az ezzel szorzott tagok elhanyagolhatók.

Ezek után, felhasználva a mért m , m' és v , v' értékeket:

$$\kappa_{\text{Magn}} - \kappa_{\text{Pt}} = +0,022 \cdot 10^{-6} - 0,001 \cdot 10^{-6} = +0,021 \cdot 10^{-6}$$

és még kiszámítva ennek az eredménynek a középhibáját:

$$\kappa_{\text{Magn}} - \kappa_{\text{Pt}} = +0,021 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}.$$

Ne hagyjuk, hogy ez a mérési eredmény, melynél a különbség értéke nagyobb, mint a középhiba, félrevezessen minket. Már említettük, hogy ennél az első mérési eljárásnál kikötésünk volt, hogy τ konstans legyen. Ha nem csak a v , v' értékeket,

²³ Az itt következő hosszabb szövegrész csak a publikációban található.

hanem az m , m' értékeket is nézzük, akkor egyértelműen láthatjuk, hogy a kísérletek során τ a magnálium esetén nagyobb volt, mint a platinánál, mivel:

$$v = +1,983 \quad v' = +1,799 \quad m = +8,138 \quad m' = +7,534.$$

A második mérési eljárás során, melyet ezt követően fogunk ismertetni, megszabadulunk az eltérő és változékony τ hatásaitól, és felhasználhatjuk az erre a második eljárásra előállított egyenleteket az első eljárás számításaihoz is, azzal a feltételezéssel, hogy τ a magnáliummal végzett kísérletek során változatlan maradt, szintúgy nem változott τ a platinával végzett kísérletek során sem, de ekkor nagysága τ helyett már τ' volt. Tehát ha az előzőleg bemutatott mérési eredményeket a később bemutatásra kerülő (20) egyenletbe írjuk be, akkor:

$$K_{Magn} - K_{Pt} = +0,004 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}$$

b) A ($\kappa_{fa} - \kappa_{platina}$) különbségre vonatkozó méréseket az első eljárás szerint, a kettős nehézségi variométer 1. ingájával végeztük.

Első kísérletsorozat

Az ingarúd a végére egy kígyófából készült, szálirányban esztergált, 24,00 cm hosszú és 1,01 cm átmérőjű hengert függesztettünk. Ekkor:

$$M_a = 24,925 \text{ g} \quad \text{és} \quad h = 21,03 \text{ cm volt.}$$

A mérés során kapott 45 db m érték és 53 db v érték középértéke:

$$m = +6,698 \pm 0,019 \quad \text{és} \quad v = -1,797 \pm 0,008,$$

Második kísérletsorozat

Az ingarúd a végére egy 6,00 cm hosszúságú és 0,50 cm átmérőjű platinahengert függesztettünk. Ekkor:

$$M'_a = 25,396 \text{ g} \quad \text{és} \quad h' = 21,18 \text{ cm volt.}$$

A mérésekkel kapott 14 db m' és 34 db v' értékből kapott átlagok:

$$m' = +6,595 \pm 0,016 \quad \text{és} \quad v' = -1,754 \pm 0,011.$$

A ($\kappa_{fa} - \kappa_{Pt}$) (17) kifejezés szerinti kiszámításához M_a középértékét (=25,160 g) használjuk. A korábban az 1. ingához megadott műszerállandók felhasználásával:

$$\frac{\tau}{4 L M_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,1189 \cdot 10^{-6}$$

Az északi műszerállásban végzett leolvasások közelítőleg

$$n = 187,5 \quad \text{és} \quad n' = 191,3$$

voltak, ezekből kapjuk:

$$\Delta\alpha - \Delta\alpha' = +\frac{3,8}{2516} = +0,0015$$

és $m = +6,65$ átlagértékkel:

$$m (\Delta\alpha - \Delta\alpha') = -0,010.$$

Továbbá fennáll:

$$\frac{h-h'}{h} = -0,007 \quad \text{és} \quad v \frac{h-h'}{h} = +0,013$$

így megkapjuk:

$$\kappa_{fa}-\kappa_{Pt}=-0,005\cdot 10^{-6}-0,000\cdot 10^{-6}=-0,005\cdot 10^{-6}$$

illetve, ha kiszámítjuk a középhibát is, akkor:

$$\kappa_{fa}-\kappa_{Pt}=-0,005\cdot 10^{-6}\pm 0,002\cdot 10^{-6}.$$

Ha azonban – ahogyan a magnáliummal és platínával végzett kísérlet számításainál – a (20) kifejezést használjuk, a következő értéket kapjuk:

$$\kappa_{fa}-\kappa_{Pt}=-0,001\cdot 10^{-6}\pm 0,002\cdot 10^{-6}.$$

Kézirat /59 ²⁴

5. Mérések és adatfeldolgozás a (II) eljárás szerint, melynél a nehézségi erőter anomáliáit konstansnak vesszük, de megengedjük az érzékenység lassú, egyenletes változását

Ahogy az első eljárás során, úgy itt is egyetlen ingát használtunk. A vizsgált testet az a végre függesztettük fel. A műszert egyenlő időközönként 90 fokkal elfordítottuk, így a műszerállások sorrendje a következők szerint alakult: Észak, Kelet, Dél és Nyugat; ezt az műveletet szükség szerint ismételtük meg.

Most azt tételeztük fel, hogy τ , és ezzel együtt m és v változása időfüggő, de ezeket a változásokat a legalább hat

Kézirat /60

műszerbeálláshoz szükséges időtartam alatt időarányosan lehet számításba venni. A meridián állásokban a leolvasási időpillanatnak megfelelő m értéket úgy kapjuk, mint ennek a leolvasásnak a megelőző és a következő műszerállás észleléseiből számított középértékek átlagától való eltérése. Ugyanilyen módon adódnak a pillanatnyi értékek az első meridionális állásokhoz. Ellenben a v egy meridiánleolvasás idejéhez tartozó pillanatnyi értékét a megelőző és az azt követő v értékek átlagából számítjuk. Visszafelé ugyanígy.

Ezután a (14) és (15) egyenletből kiszámítjuk a v/m hányadost, ahol a másodrendűen kicsiny tagok elhanyagolásával kapjuk²⁵:

²⁴ Innentől kezdve a 8. fejezetig Eötvös nem használt oldalszámozást.

²⁵ A (18), (19) és (20) egyenlet a kéziratban és a publikációban kissé eltér egymástól; itt a publikált változatot közöljük.

$$\frac{v}{m} = -\frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} + \frac{2K}{\tau} \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) - \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) \Delta \alpha -$$

$$-\frac{v^2}{m^2} \frac{m}{4L} - \frac{2n_E - n_K - n_{Ny}}{4L} + \frac{4L}{m\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa_b). \quad (18)$$

Kézirat /61

Ezután az a -végen lévő testet kicseréljük egy másikra, és egy újabb mérési sorozat eredményeként megkapjuk a v'/m' hányadosot.

A $(\kappa_a - \kappa'_a)$ értékek kiszámítása az alábbi közelítő képlettel történik:

$$\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} = + \frac{4LM_a l_a G \sin \varepsilon}{m\tau} (\kappa_a - \kappa'_a) - \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta \alpha - \Delta \alpha'), \quad (19)$$

ahonnan

$$(\kappa_a - \kappa'_a) \frac{m\tau}{4LM_a l_a G \sin \varepsilon} \left(\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} \right) + \frac{m\tau}{4LM_a l_a G \sin \varepsilon} \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta \alpha - \Delta \alpha'). \quad (20)$$

ahol minden olyan tagot elhanyagoltunk, amely a szigorúan vett v/m értékhez kevesebb, mint $1/1000$ értékkel járult hozzá.

a) A $(\kappa_{Cu} - \kappa_{Pt})$ különbségre vonatkozó mérések

A méréseket a második eljárás szerint, a kettős nehézségi variométer 1. ingájával végeztük.

Első kísérletsorozat

Az ingarúd a végére egy 6,40 cm hosszú és 0,77 cm átmérőjű rézhengert függesztettünk. Ekkor:

$$M_a = 25,441 \text{ g} \quad \text{és} \quad h = 21,16 \text{ cm} \text{ volt.}$$

A 92 mért értékből meghatározott középértékek:

$$m = +6,516 \pm 0,015 \quad \text{és} \quad v = -1,923 \pm 0,005.$$

Második kísérletsorozat

Az ingarúd a végére egy 6,00 cm hosszúságú és 0,50 cm átmérőjű platinahengert függesztettünk. Ekkor:

$$M'_a = 25,437 \text{ g} \quad \text{és} \quad h' = 21,23 \text{ cm} \text{ volt.}$$

A 64 mért értékből meghatározott középértékek:

$$m' = +6,536 \pm 0,013 \quad \text{és} \quad v' = -1,982 \pm 0,011.$$

A $(\kappa_{Cu} - \kappa_{Pt})$ (20) kifejezés szerinti kiszámításához szigorúan, minden észlelési időpontban az egyedileg számított v/m és v'/m' értékek átlagát kellett volna vennünk. Ez a számítás azonban időt rablóan körülményes, amiért ezek helyett a v és m , illetve v' , m' átlagértékeit számítsuk ki, és ezekből határozzuk meg a v/m és v'/m' hányadosokat. Könnyen belátható, hogy az adott mérési pontosság mellett ez megengedhető. Ezzel a számítással a két mérési sorozat eredményeiből megkapjuk:

$$\frac{v}{m} = -0,295 \pm 0,001; \quad \frac{v'}{m'} = 0,303 \pm 0,002$$

továbbá az északi műszerállásokhoz tartozó átlagok:

$$n=214,5 \quad \text{és} \quad n'=208,0$$

melyekből kapjuk:

$$\Delta\alpha - \Delta\alpha' = -0,002;$$

továbbá:

$$\left(\frac{v^2}{m^2} + 1\right) (\Delta\alpha - \Delta\alpha') = -0,002.$$

Az $M_a=25,439$ g középértékből kapjuk, hogy:

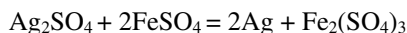
$$\frac{m\tau}{4 LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,7687 \cdot 10^{-6}$$

tehát:

$$\kappa_{Cu} - \kappa_{Pt} = +0,004 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

b) A κ érték ezüstsulfát és vassulfát reakciójakor fellépő esetleges változására vonatkozó mérések

Az



reakció iránti nagy érdeklődést H. Landolt²⁶ egy kísérlete váltotta ki, aki úgy találta, hogy a reakció során mérleggel kimutatható súlybeli eltérés jön létre. Emiatt vizsgáltuk meg, vajon ezen reakció következtében megváltozik-e a κ együttható.

Landolt instrukcióinak megfelelően kimértük:

$$1,56 \text{ g ezüstsulfát} + 4,25 \text{ g víz} = 5,81 \text{ g elegyet}$$

és

$$4,05 \text{ g kristályos vassulfát} + 1,62 \text{ g víz} + 0,14 \text{ g hígított kénsav} = 5,81 \text{ g elegyet},$$

és mindkettőt egy-egy vastagfalú üvegcsőbe zártuk. Másodszor ezt a két elegyet összeöntöttük egyetlen üvegcsőbe, és egy hétre félretettük, amikor már elvárható, hogy a teljes reakció lezajlik. Ezután egy kísérletsorozatban az elkülönített reagens elegyeket henger alakú rézhüvelyekbe helyeztük, és felfüggesztettük az ingakarra. Egy második mérésorozatnál (időben ezt megelőzően) a reakció eredményét tartalmazó csővel hasonlóan jártunk el.

Első kísérletsorozat

A reakcióban résztvevő két elegyet tartalmazó üvegcsöveket egy 12,91 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, henger alakú rézhüvelyben, egymás fölé állítva rögzítettük, és az egyszerű nehézségi variométer ingakarjára függesztettük. Ekkor:

$$M_a = 25,357 \text{ g} \quad \text{és} \quad h = 21,50 \text{ cm volt},$$

amelyből 11,62 g a reagensek tömege.

A 132 mérési adatból meghatározott középértékek:

$$m = +7,590 \pm 0,011 \quad \text{és} \quad v = -2,027 \pm 0,005.$$

Második kísérletsorozat

A reakció eredményét tartalmazó üvegcsövet az előzőekben használt rézhüvelybe helyeztük, és felfüggesztettük. Ekkor:

$$M'_a = 25,362 \text{ g} \quad \text{és} \quad h' = 21,34 \text{ cm volt},$$

²⁶ Zeitschrift für Physik und Chemie 12. S.1. 1893

amelyből 11,62 g a reakciótermék tömege.

A 132 mérési adatból meghatározott középértékek:

$$m' = +7,622 \pm 0,008 \quad \text{és} \quad v' = -2,032 \pm 0,005.$$

A $(\kappa - \kappa')$ (20) kifejezés szerinti kiszámítása során kapjuk:

$$\frac{v}{m} = -0,267 \pm 0,001 \quad \text{és} \quad \frac{v'}{m'} = -0,267 \pm 0,001$$

továbbá:

$$n = 211,1 \quad \text{és} \quad n' = 212,0.$$

mivel a $(\Delta\alpha - \Delta\alpha')$ értékkel megszorozott tagok elhanyagolhatók. Az $M_a = 25,36$ középértékből kapjuk:

$$\frac{m\tau}{4 LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,9089 \cdot 10^{-6}$$

és ezzel:

$$\kappa - \kappa' = 0,000 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6},$$

ahol κ és κ' a reagens inhomogén elegyek M_a illetve a reakciótermék M'_a középértékeire vonatkoznak.

Ha nullától eltérő κ -változást akarunk a reakciónak tulajdonítani, akkor a következőt kapjuk:

$$\kappa_{előtte} - \kappa_{utána} = 0,000 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6},$$

ahol $\kappa_{előtte}$ ugyan arra a tömegre vonatkozik a reakció előtt, mint $\kappa_{utána}$ a reakció után.

6. Mérések és adatfeldolgozás a (III) eljárás szerint, amely nem csak az érzékenység egyenletes változásától, hanem a gravitációs gradiensek laboratóriumon belüli változásától is független adatokat szolgáltat

A kísérletekhez egy kettős nehézségi variométert használtunk, melynek ingakarjait csak hozzávetőlegesen kellett párhuzamos helyzetbe állítanunk. Jelölje az első kísérlet sorozatban $\Delta\alpha_{1,I}$ az első ingakar északi iránytól való eltérését, a második kísérlet sorozatban pedig $\Delta\alpha_{1,II}$; ugyanez a második ingakar esetén $\Delta\alpha_{2,I}$ illetve $\Delta\alpha_{2,II}$, mindezt azzal a könnyedén teljesíthető feltétellel, hogy a $(\Delta\alpha_2 - \Delta\alpha_1)$ különbség értéke nem haladhatja meg a két fokot.

Mindkét ingakar b végét a csőbe helyezett platinadarabbal terheltük, míg a κ_a -val jellemzett egyik kísérleti tömeget az 1. inga a végére, a κ'_a -val jellemzett másikat a 2. inga a végére függesztettük.

Ezek után a második eljárásnak megfelelően végeztük a méréseket az egymást követő Északi, Keleti, Déli és Nyugati műszerállásokban.

A (18) egyenletből kapjuk:

$$\frac{v_1}{m_1} = -\frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} + \frac{2K}{\tau} \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) - \left(\frac{v_1^2}{m_1^2} + 1 \right) \Delta \alpha_{1I} - \frac{v_1^2}{m_1^2} \frac{m_1}{4L_1} -$$

$$\left(\frac{2n_E - n_K - n_{Ny}}{4L} \right)_1 + \left(\frac{4LM_a l_a}{m\tau} \right)_1 G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa_b)$$

és

$$\frac{v'_2}{m'_2} = -\frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} + \frac{2K}{\tau} \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) - \left(\frac{v'^2_2}{m'^2_2} + 1 \right) \Delta \alpha_{2I} - \frac{v'^2_2}{m'^2_2} \frac{m'_2}{4L_2} -$$

$$\left(\frac{2n_E - n_K - n_{Ny}}{4L} \right)_2 + \left(\frac{4LM_a l_a}{m\tau} \right)_2 G \sin \varepsilon (\kappa'_a - \kappa_b)$$

majd a kivonás elvégzése és az 1/1000-nél kisebb tagok elhagyása után kapjuk:

$$(21/a) \quad \frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} = \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta \alpha_{2,I} - \Delta \alpha_{1,I}) + \frac{4LM_a l_a}{m\tau} G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a),$$

ahol v, m, τ, M_a, l_a középértékeiket jelölik.

Ezután felcseréltük a felfüggesztett próbatesteket oly módon, hogy a κ'_a együttható kerüljön az 1. ingakarra,

Kézirat /63

és a κ_a együttható a 2. ingakarra. A második kísérlet sorozat szolgáltatja:

$$(21/b) \quad \frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} = \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta \alpha_{1,II} - \Delta \alpha_{2,II}) + \frac{4LM_a l_a}{m\tau} G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a)$$

Az összeadás elvégzésével kapjuk:

$$(22) \quad \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) = \frac{8LM_a l_a}{m\tau} G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a) + \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right)$$

$$[(\Delta \alpha_{2,I} - \Delta \alpha_{2,II}) - (\Delta \alpha_{1,I} - \Delta \alpha_{1,II})],$$

és

$$(23) \quad \kappa_a - \kappa'_a = \frac{m\tau}{8LM_a l_a \tau G \sin \varepsilon} \left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} +$$

$$\frac{m\tau}{LM_a l_a \tau G \sin \varepsilon} \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) [(\Delta \alpha_{1,I} - \Delta \alpha_{1,II}) - (\Delta \alpha_{2,I} - \Delta \alpha_{2,II})].$$

a) A ($\kappa_{\text{v}\ddot{\text{z}}}-\kappa_{\text{Cu}}$) különbségre vonatkozó mérések²⁷

Első kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer 1. ingarúdjára egy vízzel telt, 14,14 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, vízzel töltött rézedényt függesztettünk. Ekkor:

$$h=21,34 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,447 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból a víz tömege 12,82 g, tehát $M_{\text{v}\ddot{\text{z}}}=0,504 M_a$.

A kettős nehézségi variométer 2. ingarúdjára egy 6,50 cm hosszú és 0,77 cm átmérőjű sárgaréz henger függesztettünk. Ekkor:

$$h=21,21 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,805 \text{ g volt.}$$

A 108 mért értékből meghatározott átlagok:

$m_1 = +6,767 \pm 0,016$	$v_1 = -2,029 \pm 0,012$
$m'_2 = +6,611 \pm 0,012$	$v'_2 = -1,927 \pm 0,005$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1}{m_1} = -0,300 \pm 0,002; \quad \frac{v'_2}{m'_2} = 0,291 \pm 0,001.$$

Második kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer 1. ingarúdjára 6,40 cm hosszú és 0,77 cm átmérőjű rézhengert függesztettünk. Ekkor:

$$h=21,16 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,441 \text{ g volt.}$$

A 2. ingarúdra egy vízzel telt, 14,14 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, sárgaréz edényt függesztettünk. Ekkor:

$$h=21,21 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,809 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból a víz tömege 13,18 g, tehát $M_{\text{v}\ddot{\text{z}}}=0,511 M_a$.

A 92 mért értékből meghatározott átlagok:

$m'_1 = +6,516 \pm 0,015$	$v'_1 = -1,923 \pm 0,005$
$m_2 = +6,786 \pm 0,010$	$v_2 = -2,016 \pm 0,009$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v'_1}{m'_1} = -0,295 \pm 0,001; \quad \frac{v_2}{m_2} = 0,297 \pm 0,001.$$

A ($\kappa_a - \kappa'_a$) (23) egyenlet szerinti kiszámításához az első és második mérési sorozat eredményeiből megkapjuk:

$$\left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} = -0,011 \pm 0,003$$

továbbá a korábbi átlagértékek:

$$n_{1\text{I}}=216,4, \quad n_{2\text{I}}=594,7; \quad n_{1\text{II}}=214,5, \quad n_{2\text{II}}=595,3$$

és ezeknek megfelelően

$$\left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) \{ (\Delta\alpha_{1,\text{I}} - \Delta\alpha_{1,\text{II}}) - (\Delta\alpha_{2,\text{I}} - \Delta\alpha_{2,\text{II}}) \} = -0,001.$$

²⁷ A mérések részletes leírása a 6. fejezetből és a teljes 7. fejezet hiányzik a kéziratból.

Középértékként kapjuk:

$$\frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,3940 \cdot 10^{-6}.$$

és ezzel:

$$\kappa - \kappa' = -0,005 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}.$$

Tételezzük fel, hogy ez a különbség csak a $(\kappa_{\text{viz}} - \kappa_{\text{réz}})$ különbségből adódik, így, mivel $M_{\text{viz}} = 0,508 M_a$:

$$\kappa_{\text{viz}} - \kappa_{\text{réz}} = -0,010 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

b) A ($\kappa_{\text{kristályos rézsulfát}} - \kappa_{\text{Cu}}$) különbségre vonatkozó mérések

Első kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer 1. ingarúdjára egy kristályos rézsulfáttal telt, 12,99 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú sárgaréz edényt függesztettünk fel. Ekkor:

$$h = 21,22 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a = 25,447 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból a rézsulfát tömege 16,15 g, tehát: $M_{\text{rézsulfát}} = 0,635 M_a$.

A 2. ingarúdra egy másik, 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h = 21,23 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a = 25,810 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,83 g, tehát: $M_{\text{réz}} = 0,730 M_a$.

A 111 mért értékből meghatározott átlagok:

$m_1 = +6,676 \pm 0,011$	$v_1 = -1,965 \pm 0,008$
$m_2' = +6,684 \pm 0,010$	$v_2' = -1,937 \pm 0,006$

és ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1}{m_1} = -0,294 \pm 0,001; \quad \text{és} \quad \frac{v_2'}{m_2'} = -0,290 \pm 0,001.$$

Második kísérletsorozat

Az 1. ingarúdra egy 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk fel, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h = 21,11 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a = 25,468 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,49 g, tehát: $M_{\text{réz}} = 0,726 M_a$.

A 2. ingarúdra egy kristályos rézsulfáttal telt, 12,99 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, sárgaréz edényt függesztettünk fel. Ekkor:

$$h = 21,18 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a = 25,842 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból a rézsulfát tömege 16,54 g, tehát: $M_{\text{kristályos rézsulfát}} = 0,640 M_a$.

A 132 mért értékből meghatározott átlagok:

$m_1' = +6,635 \pm 0,010$	$v_1' = -1,984 \pm 0,005,$
$m_2 = +6,613 \pm 0,008$	$v_2 = -1,923 \pm 0,007$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1'}{m_1'} = -0,298 \pm 0,001; \quad \frac{v_2}{m_2} = -0,291 \pm 0,001.$$

A $(\kappa - \kappa')$ (23) egyenlet szerinti kiszámításához a két mérési sorozat eredményeiből megkapjuk:

$$\left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} = +0,003 \pm 0,002,$$

továbbá a korábbi átlagértékek:

$$n_{1I}=216,0, \quad n_{2I}=593,6; \quad n_{1II}=192,8, \quad n_{2II}=592,3,$$

és ezeknek megfelelően

$$\left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) \{ (\Delta\alpha_{1,I} - \Delta\alpha_{1,II}) - (\Delta\alpha_{2,I} - (\Delta\alpha_{2,II})) \} = -0,010.$$

Középértékként kapjuk:

$$\frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,3898 \cdot 10^{-6}$$

és ezzel:

$$\kappa - \kappa' = -0,003 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}.$$

Feltételezve, hogy ez a különbség csak a $(\kappa_{\text{kristályos rézszulfát}} - \kappa_{Cu})$ különbségből adódik, és mivel $M_{\text{kristályos rézszulfát}} = 0,638 M_a$:

$$(\kappa_{\text{kristályos rézszulfát}} - \kappa_{Cu}) = -0,005 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

c) A $(\kappa_{\text{rézszulfát oldat}} - \kappa_{Cu})$ különbségre vonatkozó mérések

Első kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer 1. ingarúdjára egy rézszulfát oldattal töltött, 13,50 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, belső részén ezüsttel bevont, sárgaréz edényt függesztettünk fel. Az oldat összetevőinek aránya megfelelt annak, amit Heydweiller²⁸ használt a kísérleteihez: 20,61 g kristályos rézszulfátot adtunk 49,07 g vízhez. Ekkor:

$$h=21,22 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,459 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból a rézszulfát oldat tömege 15,38 g, tehát: $M_{\text{rézszulfát oldat}} = 0,604 M_a$.

A 2. ingarúdra egy másik, 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h=21,13 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,834 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,85 g, tehát: $M_{Cu} = 0,730 M_a$.

A 132 mért értékből meghatározott átlagok:

$m_1 = +6.693 \pm 0.011$	$v_1 = -2.027 \pm 0.006$
$m'_2 = +6,669 \pm 0,010$	$v'_2 = -1,928 \pm 0,005$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1}{m_1} = -0,303 \pm 0,001; \quad \frac{v'_2}{m'_2} = -0,289 \pm 0,001.$$

Második kísérletsorozat

Az 1. ingarúdra egy 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk fel, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h=21,11 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,468 \text{ g volt,}$$

²⁸ Über Gewichtsänderungen bei chem. und phys. Umsetzungen. Ann. d. Phys. 5. S. 394. 1901.

ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,49 g, tehát: $M_{Cu}=0,726 M_a$.

A 2. ingarúdra egy rézszulfát oldattal töltött, 13,50 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, belül ezüsttel bevont, sárgaréz edényt függesztettünk fel. Ekkor:

$$h=21,22 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,833 \text{ g volt,}$$

ez utóbbiból a rézszulfát oldat tömege 15,40 g, tehát: $M_{\text{rézszulfát oldat}}=0,596 M_a$.

A 132 mért értékből meghatározott átlagok:

$m'_1=+6,641 \pm 0,011$	$v'_1=-1,972 \pm 0,005$
$m_2=+6,766 \pm 0,010$	$v_2=-1,982 \pm 0,007$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v'_1}{m'_1} = -0,297 \pm 0,001; \quad \text{és} \quad \frac{v_2}{m_2} = -0,293 \pm 0,001$$

A $(\kappa-\kappa')$ (23) egyenlet szerinti kiszámításához a két mérési sorozat eredményeiből megkapjuk:

$$\left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} = -0,010 \pm 0,002$$

továbbá a korábbi átlagértékek:

$$n_{11}=192,4, \quad n_{21}=593,6; \quad n_{111}=192,8, \quad n_{211}=593,4,$$

és ennek megfelelően a

$$\{(\Delta\alpha_{1,I} - \Delta\alpha_{1,II}) - (\Delta\alpha_{2,I} - \Delta\alpha_{2,II})\}$$

kifejezéssel szorzott tagot elhanyagoltuk.

Középértéknek kapjuk:

$$\frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,3917 \cdot 10^{-6}.$$

és így:

$$\kappa-\kappa' = -0,004 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}.$$

Tegyük fel, hogy ez a különbség csak a $(\kappa_{\text{rézszulfát oldat}} - \kappa_{Cu})$ különbségből adódik, így, mivel $M_{\text{rézszulfát oldat}}=0,600 M_a$:

$$\kappa_{\text{rézszulfát oldat}} - \kappa_{Cu} = -0,007 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

d) A $(\kappa_{\text{azbeszt}} - \kappa_{Cu})$ különbségre vonatkozó mérések

Első kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer 1. ingarúdjára egy azbesztet tartalmazó, 12,99 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, sárgaréz edényt függesztettünk. Ekkor:

$$h=21,31 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,462 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból az azbeszt tömege 15,25 g, tehát: $M_{\text{azbeszt}}=0,599 M_a$.

A 2. ingarúdra egy másik, 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h=21,13 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,834 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,85 g, tehát: $M_{Cu}=0,730 M_a$.

A 110 mért értékből meghatározott átlagok:

$m_1 = +6,685 \pm 0,012$	$v_1 = -2,024 \pm 0,006$
$m'_2 = +6,705 \pm 0,009$	$v_2 = -1,935 \pm 0,004$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1}{m_1} = -0,303 \pm 0,001; \quad \text{és} \quad \frac{v_2'}{m_2'} = -0,289 \pm 0,001.$$

Második kísérletsorozat

Az 1. ingarúdra egy 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk fel, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h=21,10 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,469 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,48 g, tehát: $M_{Cu}=0,726 M_a$.

A 2. ingarúdra egy azbeszttel töltött, 12,99 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, sárgaréz edényt függesztettünk fel. Ekkor:

$$h=21,24 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,833 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból az azbeszt tömege 15,25 g, tehát: $M_{azbeszt}=0,596 M_a$.

A 106 mért értékből meghatározott átlagok:

$m'_1 = +6,591 \pm 0,012$	$v_1' = -1,946 \pm 0,005$
$m_2 = +6,736 \pm 0,013$	$v_2 = -1,933 \pm 0,008$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1'}{m_1'} = -0,295 \pm 0,001; \quad \frac{v_2}{m_2} = -0,287 \pm 0,001$$

A $(\kappa - \kappa')$ (23) egyenlet szerinti kiszámításához a két mérési sorozat eredményeiből megkapjuk:

$$\left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} = -0,006 \pm 0,002$$

továbbá a korábbi átlagértékek:

$$n_{1I}=193,8, \quad n_{2I}=592,8; \quad n_{1II}=193,8, \quad n_{2II}=593,7.$$

Ennek megfelelően a

$$\{(\Delta\alpha_{1,I} - \Delta\alpha_{1,II}) - (\Delta\alpha_{2,I} - \Delta\alpha_{2,II})\}$$

kifejezéssel szorzott tagot elhanyagoltuk.

Középértéknek kapjuk:

$$\frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,3909 \cdot 10^{-6}.$$

és ezzel:

$$\kappa - \kappa' = -0,002 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}.$$

Tételezzük fel, hogy ez a különbség csak a $(\kappa_{azbeszt} - \kappa_{Cu})$ különbségből adódik, így, mivel $M_{azbeszt}=0,598 M_a$:

$$\kappa_{azbeszt} - \kappa_{Cu} = -0,003 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

e) A ($\kappa_{\text{faggyú}} - \kappa_{\text{Cu}}$) különbségre vonatkozó mérések

Első kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer 1. ingarúdja egy faggyúval töltött, 15,60 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, tiszta faggyúval töltött sárgaréz edényt függesztettünk fel. A felhasznált faggyú fajsúlya 0,918 volt (23,9°C-on), ennek megfelelően az átlagos molekuláris térfogata a víznek kb. 53-szorosa volt. Továbbá:

$$h=21,21 \text{ cm és } M_a=25,470 \text{ g.}$$

Ez utóbbiból a faggyú tömege 13,78 g, tehát: $M_{\text{faggyú}}=0,541 M_a$.

A 2. ingarúdra egy másik, 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert függesztettünk, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h=21,13 \text{ cm és } M_a=25,834 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,85 g, tehát: $M_{\text{Cu}}=0,730 M_a$.

A 118 mért értékből meghatározott átlagok:

$m_1 = +6,575 \pm 0,013$	$v_1 = -1,917 \pm 0,012$
$m'_2 = +6,637 \pm 0,013$	$v_2' = -1,877 \pm 0,007$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1}{m_1} = -0,292 \pm 0,002; \quad \frac{v_2'}{m_2'} = -0,283 \pm 0,001.$$

Második kísérletsorozat

Az 1. ingarúdra felfüggesztettünk egy 8,01 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű sárgaréz hengert, melybe elektrolitikus rézhuzalokat töltöttünk. Ekkor:

$$h=21,10 \text{ cm és } M_a=25,469 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból az elektrolitikus réz tömege 18,48 g-t tett ki, tehát: $M_{\text{réz}}=0,726 M_a$.

A 2. ingarúdra egy faggyúval töltött, 15,60 cm hosszú és 1,16 cm átmérőjű, hengeralakú, sárgaréz edényt függesztettünk fel. Ekkor:

$$h=21,16 \text{ cm és } M_a=25,847 \text{ g volt.}$$

Ez utóbbiból a faggyú tömege 13,78 g, tehát: $M_{\text{faggyú}}=0,533 M_a$.

A 115 mért értékből meghatározott átlagok:

$m'_1 = +6,655 \pm 0,009$	$v_1' = -1,881 \pm 0,007$
$m_2 = +6,831 \pm 0,005$	$v_2 = -1,930 \pm 0,006$

továbbá ezeknek megfelelően:

$$\frac{v_1'}{m_1'} = -0,283 \pm 0,001; \quad \frac{v_2}{m_2} = -0,282 \pm 0,001.$$

A $(\kappa - \kappa')$ (23) egyenlet szerinti kiszámításához a két mérési sorozat eredményeiből megkapjuk:

$$\left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} = -0,008 \pm 0,003.$$

továbbá az átlagértékek:

$$n_{\text{I}}=195,2, \quad n_{2\text{I}}=593,7; \quad n_{\text{II}}=196,2, \quad n_{2\text{II}}=593,9,$$

és ennek megfelelően a $\{(\Delta\alpha_{1,I} - \Delta\alpha_{1,II}) - (\Delta\alpha_{2,I} - \Delta\alpha_{2,II})\}$ kifejezéssel szorzott tagot elhanyagoltuk.

Középértékként kapjuk:

$$\frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,3907 \cdot 10^{-6}.$$

és ezzel:

$$\kappa - \kappa' = -0,003 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}.$$

Tételezzük fel, hogy ez a különbség csak a $(\kappa_{faggyú} - \kappa_{Cu})$ különbségből adódik, így, mivel $M_{faggyú} = 0,537 M_a$:

$$\kappa_{faggyú} - \kappa_{Cu} = -0,006 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

7. A Nap vonzásához viszonyított $(\kappa - \kappa')$ különbség mérése a meridiánban

Vegyük alapul a (12) egyenletet és az itt következő megfontolásokat. Az egyszerű nehézségi variométert fogjuk használni, melyre fennáll:

$$\sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b = M_a l_a (\kappa_a - \kappa_b).$$

Feltételezve, hogy:

$$\vartheta = \vartheta_0 - \frac{1}{\tau} \left(f_0 \frac{M}{D^2} \right) M_a l_a (\kappa_a - \kappa_b) \sin \zeta \sin A,$$

a Nap vonzására fennáll:

$$f_0 \frac{M}{D^2} = 0,586,$$

végül az egyszerű nehézségi variométer esetén:

$$M_a = 25,4 \text{ g}; \quad l_a = 20 \text{ cm}; \quad \tau = 0,5035; \quad \vartheta - \vartheta_0 = \frac{n_0 - n}{2464}$$

tehát:

$$n - n_0 = 1.457.000 (\kappa_a - \kappa_b) \sin \zeta \sin A$$

és

$$n' - n = 1.457.000 (\kappa_a - \kappa_b) (\sin \zeta' \sin A' - \sin \zeta \sin A),$$

amiből:

$$\kappa_a - \kappa_b = 0,6863 \cdot 10^{-6} \frac{n' - n}{\sin \zeta' \sin A' - \sin \zeta \sin A}. \quad (a)$$

A fenti kifejezés használatával lehetségesnek tűnik a $(\kappa_a - \kappa_b)$ különbség meghatározása egyetlen olyan mérőszorozattal, melynél a meridiánban felállított torziós inga karjának két végére két eltérő anyagú testet függesztünk fel. Várható azonban, hogy az ingára felfüggesztett testek különböző gravitációjából eredő, közel napi periódusidejű ingadozásokon kívül azonos periódusú zavaró hatások is megjelennek, melyeket nem sikerült előzetesen kizárni. Annak érdekében, hogy ezt a zavaró hatást az eredményeinkből a lehető legnagyobb mértékben kizárjuk, a következő mérési eljárást választottuk.

Egy *első kísérlet* során az ingarúd *a* végére egy platinahengert függesztettünk, és az ingakar állását, illetve a hőmérsékletet két héten át óránként feljegyeztük. Az így kapott leolvasási értékeket napi szinten óránkénti táblázatban állítottuk össze, azonos hőmérsékletre normáltuk, végül kiszámoltuk az *n* óránkénti átlagértékeit.

Ezek után egy *második kísérletsorozat* során egy magnárium hengert függesztettünk az ingakar a végére, és végrehajtottuk ugyan azt a méréssorozatot és számítást, mint az első méréssorozatnál.

Jelölje két napi leolvasás $(n' - n)$ különbségét az első kísérletsorozatnál:

$$(n' - n)_I;$$

és a második kísérletsorozatnál ugyanezen időpontokra vonatkozóan:

$$(n' - n)_{II};$$

ekkor az (a) egyenlet alapján kiszámíthatjuk:

$$(b) \quad \kappa_{\text{magnárium}} - \kappa_{Pt} = 0,6863 \cdot 10^{-6} \frac{(n' - n)_{II} - (n' - n)_I}{\sin \zeta' \sin A' - \sin \zeta \sin A}$$

Bár nagy valószínűséggel változik a $(\sin \zeta' \sin A' - \sin \zeta \sin A)$ tag értéke az első és a második kísérletsorozat között eltelt idő során, de bizonyára megfelel, ha számításainkhoz ezen mennyiségek középértékeit használjuk.

Első kísérletsorozat

Az egyszerű nehézségi variométer a végére egy 6,01 cm hosszú és 0,5 cm átmérőjű platinahengert függesztettünk fel, és az ingakart a meridiánban úgy állítottuk be, hogy az a vége észak felé mutasson. Ekkor:

$$h=21,24 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,421 \text{ g volt.}$$

A mérések időtartama 1908. június 18-tól július 2-ig tartott, és ezután naponként rendszereztük az óránkénti értékeket, meghatároztuk az óránkénti átlagértékeket és képeztük azoknak az összátlagtól való eltéréseit.

Második kísérletsorozat

Az egyszerű nehézségi variométer a végére egy 11,91 cm hosszú és 1,01 cm átmérőjű magnáriumhengert függesztettünk fel, és az ingakart a meridiánban úgy állítottuk be, hogy az a vége észak felé mutasson. Ekkor:

$$h=21,24 \text{ cm} \quad \text{és} \quad M_a=25,362 \text{ g volt.}$$

A mérések időtartama 1908. július 21-től augusztus 4-ig tartott, és az adatokkal ugyan úgy jártunk el, ahogy az első kísérletsorozatban.

A $(\kappa_{\text{Magnárium}} - \kappa_{Pt})$ különbséget minden olyan, erre a célra megfelelő n és n' értékre kiszámoltuk, melyeknél $\zeta=90^\circ$ teljesült, vagyis a leolvasások napkelte vagy napnyugta idején történtek.

A napfelkeltehez kapott n leolvasási értéknek vegyük közelítőleg a 4 óra 0 perc és 5 óra 0 perc időpontban történt leolvasások átlagértékét, illetve a napnyugtához tartozó n' értéknek az este 7 óra 0 perc és 8 óra 0 perc időpontban történt leolvasások átlagértékét, azaz $A=-120^\circ$ és $A'=+120^\circ$ esetére.

Az első kísérletsorozat méréseiből kaptuk:

$$n' - n = -0,062,$$

a második kísérletsorozat méréseiből pedig:

$$n' - n = -0,046.$$

Ha a számításainkat csak egyetlen kísérletsorozat eredményei alapján, az (a) egyenlet felhasználásával végeztük volna, akkor az eredményünk

$$K_{\text{Magnálum}} - K_{\text{Pt}} = -0,018 \cdot 10^{-6}$$

lett volna. Kizárva minden egyes olyan zavaró hatást, amely a napi periódusidejű ingamozgást befolyásolhatta, valamint felhasználva mindkét kísérletsorozat során kapott értékeket, a (b) egyenlettel számolva kapott helyes eredmény azonban:

$$K_{\text{Magnálum}} - K_{\text{Pt}} = +0,006 \cdot 10^{-6}.$$

Kézirat Abs. 1/64

8. Vizsgálatok annak eldöntésére, vajon okozhatnak-e abszorpciót egymást vonzó tömegek közé iktatott testek

Az előzőekben bemutatott vizsgálódásainkkal szoros összefüggésben merült fel az a kérdés, hogy vajon A test egy másik, B testre gyakorolt vonzóerejének nagysága függ-e egy köztük lévő harmadik, C testtől, azaz létezik-e a testeknek a tömegvonzással szemben fellépő abszorpció-képességük. Amennyiben ez létezik, akkor a különböző alakú és méretű testeknek eltérően kellene vonzaniuk egymást, sőt, ennek a vonzóerőnek még attól is függenie kellene, hogy az egymást vonzó testek egyes részei milyen irányban helyezkednek el egymáshoz

Kézirat Abszorpció 2/65

képest. A vonzott test elülső része ez esetben befolyásolja a mögötte lévő rész vonzását. Ilyen megfontolásból a felvetett kérdés megválaszolásához felhasználhatjuk azon fentebb leírt kísérleteink eredményeit, melyek a különböző testek közti vonzóerővel foglalkoztak. Emellett azonban fenntarjuk a kérdéssel foglalkozó, közvetlen kísérletek lehetőségét is.²⁹

Itt nem olyan kísérletekre gondolok, mint az L. W. Austin és C.B Thering³⁰ által végzetek, amikor egy torziós inga kitérése alapján próbálták megmérni pár kilogrammnyi tömegű testek közé helyezett, néhány centiméter vastag víz-, ólom- és higanyréteg tömegvonzásra gyakorolt hatását.

Kézirat Abszorpció 3./66

Az ilyen kísérletek, még ha a legnagyobb gondossággal is végzik azokat, aligha adhatnak megfelelő pontosságú eredményt, ahogy azt a nevezett urak 1897-ben publikált munkájukban meg is említették, miszerint a testek közé helyezett rétegek tömegvonzásra

²⁹ A következő néhány kézirattoldal hiányzik a nyomtatott szövegből.

³⁰ A nevek és a bibliográfiai adatok is bizonytalanok, feltehetően geodes. Fortschr.

gyakorolt hatása kisebb, mint e réteg tömegvonzásának $1/500$ -ad része. Ilyen eredményt sokkal egyszerűbben is elérhetünk, ha végig gondoljuk, hogy egy, az előbbinél sokkal nagyobb vonzóerővel rendelkező Föld hatásának kitett mérleg egyensúlyi helyzetében nem okoz érzékelhető változást az, ha a fent leírt rétegeket az egyik megterhelt serpenyő alá helyezzük. Az ezen utóbbi műszerrel

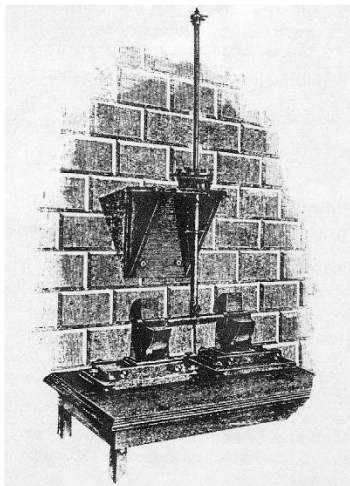
Kézirat Abszorpció 4/67

elérhető pontosság – megfelelő elővigyázatosság mellett – akár a tömeg tízmilliomod részére növelhető. A torziós inga alkalmazásával ennél jóval nagyobb pontosság érhető el. Ilyen kísérleteket már 1902-ben végeztünk az Eötvös által gravitációs kompenzátornak nevezett műszerrel³¹. Ezeket a kísérleteket annak ellenére tesszük itt közzé, hogy csak előzetes vizsgálatoknak tekinthetők, és szeretnénk, hogy az olvasók is annak tekintenék. Nem volt ugyanis időnk számunkra teljesen kielégítő kísérletek végrehajtására, illetve a műszer tökéletesítésére.

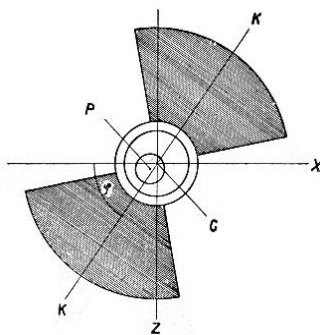
A kísérletekhez teljesen hasonló műszert használtunk, mint amit Eötvös már bemutatott, így most nem szükséges erről részletes

Kézirat Abszorpció 5/68

leírást adnunk. A torziós inga 50 cm hosszú ingakarjának mindkét végére egy-egy 30 g tömegű sárgaréz gömböt erősítettünk, melyet kívülről a fém védőcsövön kívül egy kompenzálásra szolgáló szerkezet vesz körül (lásd 9. ábra³²).



9. ábra



10. ábra

³¹ Untersuchungen über Grav. und Erdmagn. Wiedemans Annalen 120 59.

³² A kompenzátorról készült fénykép (a nyomtatott szövegben 8. ábra) a kéziratban természetesen nem szerepel

A mindkét véghez rögzített kompenzációs eszköz 5 cm átmérőjű, hengeres fém karmantyú, amely körülveszi a védőcsövet. A fém karmantyúk mindegyike két, egymással szemben lévő, vízszintes tengelyen nyugvó, ólomból készült hengerkvadránst (kompenzációs tömeget) tartalmaz úgy, hogy a KK középvonal vízszintessel bezárt hajlásszöge, φ , forgatással változtatható legyen (lásd 10. ábra). A kvadránsok méretei: belső sugár: 2,5 cm, külső sugár: 12 cm, vastagság, vagyis a két határoló sík egymástól mért távolsága: 9,5 cm. Az ingakar végei, pontosabban a rájuk illesztett sárgaréz gömbök egy-egy kompenzáló kvadráns pár közepén függenek.

Kézirat Abszorpció 6/69

Tökéletesen beállított műszer esetén az ingakar két végén lévő gömbök P középpontjainak a kompenzátorok C forgástengelyében kell lenniük. Mivel azonban ilyen tökéletes pontosságot nem tudunk megvalósítani, ábránkon egymástól távol ábrázoltuk P -t és C -t, és ennek megfelelően P koordinátáit egy C -re fektetett X - Z rendszerre vonatkoztatva ξ és ζ jelöli.

Kézirat Abszorpció 7/70

Jelen esetben a műszert mindig úgy használtuk, hogy a két kompenzátor azonos helyzetben volt az általuk körülvelt ingavéghez viszonyítva. A 10. ábra a kompenzátor és benne függő golyó keresztmetszetét mutatja úgy, ahogy azt az észlelő látja, miközben az egyik rúdvégnél állva a forgástengely irányába néz. Ugyanezt látja az ingarúd másik végén lévő megfigyelő a másik rúdvégen lévő kompenzátornál állva ellenkező irányba nézve. Ennek megfelelően mindkét kompenzátorot mindig azonos szögben forgattuk el. Ebben az esetben a kompenzátoroknak a golyókkal terhelt ingakarra gyakorolt vonzása miatt fellépő forgatónyomaték a következő alakban fejezhető ki:

Kézirat Abszorpció 8/71

$$F = A\xi + B\cos\varphi + \xi C\cos 2\varphi + \zeta D\sin 2\varphi.$$

A szóban forgó vizsgálatok során a kompenzátorokat egymás után négy, egymáshoz képest derékszögben álló pozícióba helyeztük. A kompenzátorállásokat, valamint a hozzájuk tartozó φ és F értékeket az alábbi ábra mutatja:

I. Állás	II. Állás	III. Állás	IV. Állás
$\varphi_1 = 45^\circ$	$\varphi_2 = 135^\circ$	$\varphi_3 = 225^\circ$	$\varphi_4 = 315^\circ$
$F_1 = A\xi_1 + B\cos\frac{\pi}{4} + \zeta D$	$F_2 = A\xi_2 - B\cos\frac{\pi}{4} - \zeta D$	$F_3 = A\xi_3 - B\cos\frac{\pi}{4} + \zeta D$	$F_4 = A\xi_4 + B\cos\frac{\pi}{4} - \zeta D$

Kézirat Abszorpció 9/72

Tételezzük fel, hogy a Föld torziós ingánk tömegeire gyakorolt vonzását befolyásolja a kompenzáló tömegek abszorpciószerű hatása. Emiatt az F forgatónyomatékhoz egy Φ forgatónyomaték hozzá adódik, melynek iránya a kompenzátorálláshoz képest előre felé, vagy hátrafelé mutat. Képzeljünk el ugyanis, hogy a Földet két félgömbre osztjuk egy, az ingakarra fektetett függőleges sík segítségével, így az egyik félgömb (az I. Állásban a bal félteke) vonzása a kompenzátoron keresztül, a másiké (a jobb oldali) azonban e nélkül érvényesül (lásd 11. ábrát³³).

Mindkét félgömb létrehozza a vonzóerő egy vízszintes komponensét, melynek tömegegységre vonatkoztatott nagysága –

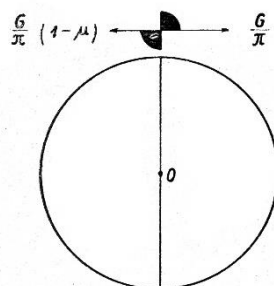
Kézirat Abszorpció 10/73

figyelman kívül hagyva egy esetleges abszorpciót – G/π , iránya pedig arra mutat, amerre a vonzást kifejtő félteke található.

Ha azonban fellép az abszorpció, akkor az ez által befolyásolt félteke vonzását vegyük

$$\frac{G}{\pi}(1 - \mu)$$

11. ábra



értéknek, ahol μ a Föld és az ingászly közé helyezett test abszorpciós kapacitása, ami ezen túl függ még annak alakjától, nagyságától és elhelyezkedésétől is.

A két félteke együttes hatásaként egy olyan vízszintes erőkomponens keletkezik, amely mindig a kisebb abszorpció irányába mutat. Jelölje m az ingakaron lévő, egy-egy gömb tömegét és l a hozzájuk tartozó forgási sugarat, akkor az egyoldalú

³³ A nyomtatott szövegben 10. ábra, a kéziratban számozás nélkül szerepel.

abszorpció hatására létrejövő forgatónyomaték az I., II., III. és IV. kompenzátor állásban:

Kézirat Abszorpció 11/74

I. Állás	II. Állás	III. Állás	IV. Állás
$\Phi_1 = -2 m l \frac{G}{\pi} \mu$	$\Phi_2 = +2 m l \frac{G}{\pi} \mu$	$\Phi_3 = -2 m l \frac{G}{\pi} \mu$	$\Phi_4 = +2 m l \frac{G}{\pi} \mu$

Úgy gondoljuk, hogy a torziós inga egyensúlyi helyzetét egyrészt az F és Φ forgatónyomaték összege, másrészt a torzióval szemben fellépő forgatónyomaték eredője hozza létre. Ez utóbbit fejezzük ki az alábbi alakban:

$$\tau \vartheta_0 + \tau \vartheta,$$

ahol ϑ_0 az ingarúd $\xi = 0$ helyzetéhez tartozó torziós szöget jelöli, $\vartheta_0 + \vartheta$ pedig a teljes torziós szöget. Legyen továbbá:

$$\xi = l\vartheta,$$

akkor az alábbiak szerint megkapjuk a négy kompenzátorállásra az egyensúlyi feltételeket:

Kézirat Abszorpció 12/75

$$\tau \vartheta_0 + \tau \vartheta_1 = A l \vartheta_1 + B \cos \frac{\pi}{4} + \zeta D - 2 m l \frac{G}{\pi} \mu,$$

$$\tau \vartheta_0 + \tau \vartheta_2 = A l \vartheta_2 - B \cos \frac{\pi}{4} - \zeta D + 2 m l \frac{G}{\pi} \mu,$$

$$\tau \vartheta_0 + \tau \vartheta_3 = A l \vartheta_3 - B \cos \frac{\pi}{4} + \zeta D - 2 m l \frac{G}{\pi} \mu,$$

$$\tau \vartheta_0 + \tau \vartheta_4 = A l \vartheta_4 + B \cos \frac{\pi}{4} - \zeta D + 2 m l \frac{G}{\pi} \mu,$$

Ha a fenti egyenletek közül az első és a harmadik összegéből kivonjuk a második és negyedik összegét, akkor az eredmény:

$$(\tau - A l)(\vartheta_1 + \vartheta_3 - \vartheta_2 - \vartheta_4) = 4 \zeta D - 8 m l \frac{G}{\pi} \mu.$$

Ha az észlelést skála és tükör segítségével végezzük, akkor jelölje n a leolvasott skálaértéket, L pedig a tükör és a skála közt mért távolságot, így kapjuk:

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = \frac{8 L D \zeta}{\tau - A l} - \frac{16 L m l}{\tau - A l} \frac{G}{\pi} \mu.$$

Az ezután következő méréseink feldolgozásához megadjuk az általunk használt eszközök megfelelő pontosságú mérésekkel kapott közelítő méreteit:

Kézirat Abszorpció 13/76

$L = 1315$ skálaosztás	$m = 30$ g	$l = 25$ cm	$G = 982$ C.G.S.	$\tau - A l = 0,103$ C.G.S.
------------------------	------------	-------------	------------------	-----------------------------

Az utolsó kifejezés nagyságát a kompenzátorral végzett kísérletekkel állapítottuk meg. Ezen értékek felhasználásával:

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = \frac{8LD}{\tau - A l} \zeta - 47890 \cdot 10^6 \mu.$$

A ζ együttható a műszer méretadataiból könnyedén kiszámítható, mi azonban ezt a mennyiséget mérési adatainkból is meghatároztuk oly módon, hogy előállítottunk két értéket az $(n_1 + n_3 - n_2 - n_4)$ mennyiségre, melyek megfeleltethetők különböző ζ értékeknek. Ezután

$$(n_1' + n_3' - n_2' - n_4') - (n_1 + n_3 - n_2 - n_4) = \frac{8LD}{\tau - A l} (\zeta' - \zeta).$$

Kézirat Abszorpció 14/77

A ζ érték változása könnyedén előidézhető és mérhető a talpcsavarokon nyugvó kompenzátor süllyesztésével, vagy emelésével. Ilyen kísérlettel, ζ -t centiméterben mérve, kaptuk:

$$\frac{8LD}{\tau - A l} = 608,$$

ezt felhasználva: $n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = 608 \zeta - 47890 \cdot 10^6 \mu$
és

$$\mu = \frac{n_2 + n_4 - n_1 - n_3}{47890 \cdot 10^6} + \frac{608 \zeta}{47890 \cdot 10^6}$$

A fenti kifejezés számértékei utalhatnak arra, hogy a μ milyen pontossággal határozható meg, emellett rámutatnak a jövőben kezelendő nehézségekre. Ezek nem csak az olyan zavaró hatásoktól való védelmet jelentik, melyek hatása ilyen nagy pontosságnál kétszeresen nyomnak a latban, hanem azt is, hogy a ζ -val szorzott tagok hatását a lehetőségekhez képest el kell kerülni, vagy megbízhatóan meg kell határozni.

Kézirat Abszorpció 15/78

Műszerünk rögzített felállítására egy állandó hőmérsékletű pincében megfelelő védelmet biztosított kísérleteinkhez, és katetométerek segítségével sikerült a kompenzátorokat is úgy beállítani, hogy ζ változása 1/500 cm alatt maradt. Ilyen körülmények között már évekkel ezelőtt végeztünk három kísérletsorozatot, melyek leolvasási értékeit a következő táblázat foglalja össze:

		Észlelések		
		Április 17.	Április 20.	Április 23.
I. Műszerállás	n_1	246,2	264,0	266,2
II. Műszerállás	n_2	247,4	264,6	268,0
III. Műszerállás	n_3	246,3	263,8	267,1
IV. Műszerállás	n_4	246,0	262,5	266,6
I. Műszerállás	n_1	246,0	263,9	265,9

Kézirat Abszorpció 16/79

A ζ -val arányos tagok elhagyásával kiszámíthatjuk μ értékét:

az április 17-i mérésekből: $\mu = + \frac{1}{47890 \cdot 10^6} \cdot 1,0,$

az április 20-i mérésekből: $\mu = - \frac{1}{47890 \cdot 10^6} \cdot 0,6,$

az április 23-i mérésekből: $\mu = + \frac{1}{47890 \cdot 10^6} \cdot 1,4.$

Ne feledjük, hogy ζ beállításában elkövetett mindössze 1/50 mm = 1/500 cm pontatlanság az egységnyt meghaladó hibát okozna a fenti értékekben. Ezért felhatalmazva érezzük magunkat, hogy μ nullától különböző értékeit hozzárendeljük ehhez a pontatlansághoz. Amennyire ez ilyen kevés kísérlet alapján lehetséges, kijelenthetjük, hogy μ , vagyis a Föld tömegvonzásának az elé helyezett kompenzáló kvadránsok okozta csökkenése kisebb, mint annak 1 ötvenezer milliomod része.

Kézirat 17/12³⁴

A bemutatotthoz hasonló kísérleteket többször meg kell ismételni ahhoz, hogy azok bizonyító erővel szolgáljanak, továbbá lehetőség szerint növelni kell a mérések pontosságát, leginkább a műszerek méretezésével oly módon, hogy megszabaduljunk a ζ -val arányos tag zavaró hatásától. A kompenzáló tömegeket az ingakartól nagyobb távolságban kell elhelyezni. Sajnos a szerzőknek erre már nem jutott idejük.

Vizsgáljuk most meg a μ -re vonatkozó eredményünk jelentőségét. Úgy véljük, elkerülhetjük nagyságának pontos, fáradságos kiszámítását, ha az abszorpciót az árnyékoló közegen való

³⁴ A restaurálás során rosszul számozott oldal

áthatalás hosszával arányosnak feltételezzük, hiszen célunk csak egy minimális határérték megállapítása. Nyugodtan kijelenthetjük, Kézirat Abs. 18/80

hogy a Föld egyik felének bármely pontjából az általa vonzott gömbhöz húzott egyenes azon részének átlagos hossza, amely a kompenzáló tömegeken áthalad, minden esetben eléri 5 cm-t. Azt is kijelenthetjük, hogy a Föld tömegvonzása annak egy ötvenezer milliomod részénél nagyobb arányban nem abszorbeálódik, ha egy 5 cm vastag ólomrétegen keresztül fejt ki hatását. Egy 1 m vastag ólomréteg esetén ez a határérték a Föld tömegvonzása egy kétezerötszáz milliomod részére változna, és a Föld teljes átmérője menti abszorpció hozzávetőleg a tömegvonzás egy négyszázada lenne. Ha azonban azt tételezzük fel, hogy az abszorpció arányos az abszorbeáló tömeggel, akkor – kísérleteinknek megfelelően – az egész Föld átmérője mentén fellépő abszorpció sem lehet több, mint a tömegvonzás egy nyolcszázad része.

Kézirat Abs. 19/81

Az árapály jelenségének és az árapályt létrehozó erők vizsgálata alapján azonban a tömegvonzásában a Földön való áthaladás okozta esetlegesen fellépő abszorpció ennél sokkal kisebb mértékű lehet. A legegyszerűbb módon erről úgy győződhetünk meg, ha a Föld két pontján vesszük a Nap vagy a Hold tömegvonzását képviselő, függőleges irányú erőt úgy, hogy a zenittávolság mindkét égitest esetén $\zeta=0$ és $\zeta=\pi$ legyen.

Az abszorpciómentes estre érvényes

$$-Z = 2 f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D}$$

kifejezés helyett vegyük azt az esetet, ahol ilyen abszorpció fellép:

$$-Z = 2 f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} + \mu f \frac{M}{D^2},$$

illetve

$$-Z = 2 f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} (1 + \mu \frac{D}{2a}),$$

Kézirat Abs. 20/82

ahol μ a Földtömegnek egy Földsugárnyi részén abszorbeálódó tömegvonzás-hányadát jelöli.

A Nap által keltett árapályra írhatjuk:

$$-Z = 2 f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} (1 + 11800 \mu),$$

a Hold árapály hatására pedig:

$$-Z' = 2f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} (1 + 30,14 \mu).$$

Ha μ elérné az ingakísérleteink során megállapított $1/1600$ határértéket, akkor a Nap esetére kapnánk:

$$-Z = 2f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} (1 + 7,4),$$

míg a Holdra:

$$-Z' = 2f \frac{M'}{D'^2} \frac{a}{D'} (1 + 0,02).$$

A Nap által keltett árapály ebben az esetben tehát mintegy nyolcszorosára nőne, míg a Holdé alig változna.

Kézirat Abs. 21/17³⁵

Egy ilyen felvetésnek már a legkezdetlegesebb árapály megfigyelések is ellentmondanak. De legalább megpróbálhatnánk az árapály jelenséget létrehozó erők vizsgálatából meghatározni a μ értéket vagy legalábbis azt a minimális értékhatárt pontosítani, amelyet nem léphet át.

A Nap és a Hold árapály jelenségét létrehozó erők hányadosa tehát előző megfontolásaink alapján:

$$\frac{Z}{Z'} = \frac{Z_0}{Z'_0} (1 + 11770 \mu),$$

ahol $\frac{Z_0}{Z'_0}$ a $\mu = 0$ feltételezéshez tartozó, elméleti hányadosérték.

Tegyük fel (amire minden alapunk megvan), hogy az árapály jelenség több éven át tartó megfigyelése során legalább annyit

Kézirat Abs. 22/18

tudunk bizonyítani, hogy a Nap által keltett árapályhullám amplitúdója soha nem haladja meg a Holdét, ezzel bizonyítva, hogy a Nap tömegvonzása egy Föld-sugárnyi távolságon kevesebb, mint egy-tízezred résszel gyengül. Ezt az eredményt az előbbi egyenletünkéből származtattuk az alábbi értékek behelyettesítésével:

$$\frac{Z}{Z'} = 1 \quad \text{és} \quad \frac{Z_0}{Z'_0} = \frac{1}{2,2}.$$

Ennél pontosabb eredmények esetleg várhatók az árapályt létrehozó erők vizsgálatától.³⁶ Ilyen vizsgálatok már

³⁵ A következő három oldalt – alsó számozásuk 17, 18 és 20 – nyilvánvalóan nem a megfelelő helyre sorolták be, de értelemszerűen ide tartoznak. Érdekes módon a 19. oldal a megfelelő helyen volt.

³⁶ A nyomtatott szöveg 8. fejezete itt befejeződik

rendelkezésiünkre állnak. Itt fekszik előttünk O. Hecker közelmúltban publikált szép munkája: „Horizontális ingával végzett mérések stb.”³⁷ tele mérési adatokkal és a belőlük levezetett, nagyon érdekfeszítő közvetkeztetésekkel.

Kézirat Abs. 23/20

A méréseket két horizontális ingával végezték, a végeredményeket a közlemény 31. és 32. oldala tartalmazza a következő összefoglaló formátumban:

I. inga	a Hold számított vonzása:	$0.00922'' \cos(2t - 305^\circ 5)$
	a Hold mért árapály hatása:	$0.00622'' \cos(2t - 285^\circ 4)$
II. inga	a Hold számított vonzása:	$0.00900'' \cos(2t - 48^\circ 7)$
	a Hold mért árapály hatása:	$0.00543'' \cos(2t - 63^\circ 2)$
I. inga	a Nap számított vonzása:	$0.00399'' \cos(2t - 305^\circ 5)$
	a Nap mért árapály hatása:	$0.00244'' \cos(2t - 273^\circ 6)$
II. inga	a Nap számított vonzása:	$0.00389'' \cos(2t - 48^\circ 7)$
	a Nap mért árapály hatása:	$0.00585'' \cos(2t - 48^\circ 3)$

Itt most nem kívánunk részletesebben foglalkozni a mért és a számított adatok megfelelő egyezésével, jobban érdekel minket a Nap és a Hold árapályhullám amplitúdójának aránya. Ezeket az amplitúdókat A_N és A_H betűkkel jelölve kapjuk:³⁸

I. inga	$\frac{A_N}{A_H}$ számított = 0.432	II. inga	$\frac{A_N}{A_H}$ számított = 0.432
	$\frac{A_N}{A_H}$ észlelt = 0.392		$\frac{A_N}{A_H}$ észlelt = 1.077

Az I. ingára kapott számított és észlelt értékek jó egyezése arra vezethet, hogy lejjebb vigyük a μ küszöbértékét. Sajnos a II. inga megakadályoz abban, hogy ezt biztonsággal megtegyük. Professzor Hecker a cikkében többször is megemlíti, hogy problémái voltak a II. ingával, észlelési adatai megbízhatatlanok.

De ha csak a II. inga adatait vesszük figyelembe, akkor is elérjük a korábban közölt adatainkat. miszerint a Nap vonzásának abszorpció okozta vesztesége Föld-sugárnyi távolságon nem lehet nagyobb annak egy tizedredénél. Ez az eredmény több mint tízszer

³⁷ Beobachtungen an Horizontalpendeln etc. Veröffentlichung der K. Preuss. Geodäsischen Institutes Neue Folge No. 32. 1907

³⁸ A Kézirat abszorpció részé itt végződik. E fejezet utolsó elveszett oldalát egy korábbi publikációból rekonstruáltuk.

pontosabb, mint amit a gravitációs kompenzátorral el tudtunk érni. Hangsúlyoznunk kell, hogy ezek a mérések kísérleti jellegűek, melyeket nagyobb gondossággal végrehajtva sokkal nagyobb pontosságot érhetünk el.

Kézirat Ra. 1/83

9. Radioaktív anyagokkal végzett kísérletek

Radioaktív anyagokkal két irányban végeztünk kísérleteket, egyrészt a tömegük és a Föld rájuk gyakorolt tömegvonzása közti összefüggést vizsgáltuk, másrészt pedig azt a kérdést, hogy létrehozna-e ezek az anyagok abszorpciót, illetve ezek maguk okozna-e valamiféle speciális vonzó vagy taszító hatást.

a) A tömeg és a vonzóerő közti összefüggés vizsgálata

Kísérleteinket a Curie Laboratóriumból származó rádium-preparátummal végeztük, amit Dr. Sz. úr volt kedves a rendelkezésünkre bocsátani. Az üvegcsőbe zárt preparátum össztömege 0,200 g volt, amiből Dr. Sz. úr információi szerint

Kézirat Ra. 2/84

0,100 g volt a tiszta RaBr_2 , melynek aktivitása a fém uránium 1 500 000-szerese. Sajnos ez a preparátum csak rövid ideig, ténylegesen csak a munkánk kezdetekor állt rendelkezésünkre, ezért csak az I. eljárásunkkal tudtuk vizsgálatainkat elvégezni.

A rádium tartalmú üvegcsőt egy zárt sárgaréz cső közepébe helyeztük, gondosan rögzítettük, és felfüggesztettük az ingarúd végére. Ezután kísérleteinket a magnáliummal és fával végzett mérésekkel azonos módon hajtottuk végre. Emellett azonban figyelembe kellett vennünk azt is, hogy az M_a felfüggesztett tömeg nem homogén, és csak mintegy 1/250-ed részben tartalmaz RaBr_2 -ot.

A kísérlet közvetlenül a teljes M_a tömeghez tartozó κ_a átlagos tömegvonzási együttható meghatározására vonatkozott, ahol a κ_a -hoz a rádiumbromid κ_{Ra} tömegvonzási együtthatója az M_a tömeg 1/250-ed részének megfelelő mértékben járult hozzá.³⁹ Ebben az esetben, ha a $(\kappa_a - \kappa_{\text{Pt}})$ értéket kizárólag a rádiumpreparátumra vonatkoztatjuk, akkor a következőképpen kell eljárunk:

$$\kappa_{\text{Ra}} - \kappa_{\text{Pt}} = \frac{1}{250} (\kappa_a - \kappa_{\text{Pt}}).$$

³⁹ A kísérlet leírásának vége és a tényleges mérési adatok hiányoznak a kéziratból.

Első kísérletsorozat

A kettős nehézségi variométer I. ingájának a végére a rádiumpreparátumot tartalmazó 9,62 cm hosszú és 0,90 cm átmérőjű, zárt sárgaréz csövet függesztettük fel. Ekkor:

$$M_a = 25,396 \text{ g} \quad \text{és} \quad h = 21,55 \text{ cm} \text{ volt.}$$

A mérés során kapott 15 m érték átlaga:

$$m = +6,566 \pm 0,028,$$

és a mért 43 ν érték átlaga:

$$\nu = -1,736 \pm 0,008.$$

Második kísérletsorozat

Ehhez felhasználtuk a $(\kappa_{fa} - \kappa_{Pt})$ különbség meghatározásakor (4. fejezet, b) Második kísérletsorozat) számított átlagértékeket, melyeket ugyanazzal a műszerrel mértünk – az ingarúd a végére egy platinahengert függesztve – mint amelyet a fenti mérésekhez használtunk.

Ezen méréssorozat középértékei:

$$m' = +6,595 \pm 0,016 \quad \text{és} \quad \nu' = -1,754 \pm 0,011.$$

A $(\kappa_a - \kappa_{Pt})$ (17) kifejezés szerinti kiszámításához középértékként használjuk:

$$M_a = 25,396 \text{ g} \quad \text{és} \quad \frac{\tau}{4 L M_a l_a G \sin \varepsilon} = 0,1178 \cdot 10^{-6}.$$

Az északi műszerállás leolvasásai:

$$n = 191,5 \quad \text{és} \quad n' = 191,3 \text{ voltak,}$$

és mivel $n - n' = +0,2$, ezért az $m (\Delta\alpha - \Delta\alpha')$ kifejezést elhanyagolhattuk.

Ekkor:

$$\frac{h - h'}{h} = +0,017 \quad \text{és} \quad \nu \frac{h - h'}{h} = -0,029,$$

így megkapjuk:

$$\kappa_a - \kappa_{Pt} = +0,005 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

Amennyiben a magnáliummal és a fával végzett kísérletekhez hasonlóan a (20) képlettel számolunk, akkor az alábbi értéket kapjuk:

$$\kappa_a - \kappa_{Pt} = -0,001 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

Végül korábbi megállapításunknak megfelelően kapjuk:

$$\kappa_{Ra} - \kappa_{Pt} = -0,25 \cdot 10^{-6} \pm 0,50 \cdot 10^{-6}.$$

b) A rádiumpreparátum fajlagos mechanikai hatásaira vonatkozó mérések

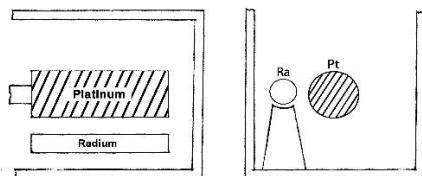
Szeretnénk még néhány kísérletről beszámolni, amelyeket azzal a szándékkal végeztünk néhány évvel ezelőtt (1904-ben), hogy megvizsgáljuk, van-e a rádiumpreparátumnak mechanikai hatása a torziós ingára. Vizsgálataink Robert Geigel kutatási területére vezettek minket, melyről az "Über Absorption von Gravitationsenergie durch radioaktive Substanzen"⁴⁰ című értekezésében számolt be. Hamarosan megjelentek W. Kaufmann R. Geigel⁴¹ munkájához fűzött megjegyzései, így a további észrevételek publikálása feleslegesnek tűnt számunkra, de azért úgy véljük, hogy jelen értekezés keretei közt érdemes megemlíteni a saját kísérleteinket.

Kézirat b/2/86

Kísérleteinkhez egy a Societe Centrale des Produits Cliniques (Paris) intézménytől kapott, 10 mg-os rádiumpreparátumot használtunk. A szer aktivitása a fém uránium közel 1.000.000 szorosa. A rádiumpreparátumot egy 4,5 cm hosszú, 0,5 cm külső átmérőjű és 0,66 g súlyú üvegcsébe zártuk.

1. kísérlet

Műszerünk, a nehézségi variométer, egyensúlyi helyzetének leolvasása után a rádiumtartalmú üvegcsét az ingaházon belül egy könnyű drótszerkezeten úgy rögzítettük, hogy az üvegcsé az ingakar b végén, az ott lévő platinahengerrel párhuzamosan, és azzal azonos magasságban helyezkedjen el. A platinahenger és az üvegcsé egymáshoz viszonyított helyzetének vízszintes és függőleges vetületét az ábránkon mutatjuk meg.



12. ábra

⁴⁰ Annalen der Physik IV. Folge, 10. p. 429. (1903)

⁴¹ Ugyanott 894 . oldal

A rádiumos csövecskét először a felfüggesztett platinahenger egyik, majd másik oldalára helyeztük, és mindegyik alkalommal leolvastuk az inga egyensúlyi helyzetét (n). A platinahenger és a csövecske közti H távolságot azokból az n_z leolvasási értékekből számítottuk ki, melyeknél a még lengő ingakar visszapattant az üvegcséről. A korábbi jelöléseknek megfelelően tehát:

$$H = \frac{n_z - n}{2L} l,$$

majd $l = 20 L = 1232$ esetén

$$H = 0,0081(n_z - n) \text{ cm} = 0,081(n_z - n) \text{ mm.}$$

Az alábbi táblázat vázlatosan bemutatja az 1904 február 2-én zajlott kísérlet lefolyását.

	$n_z = 257,0$	$n_z = 156,0$	
11 h 00 m $n = 206,3$	13 h 26 m $n = 204,8$	15 h 55 m $n = 208,5$	18 h 14 m $n = 206,6$
	13 h 38 m $n = 204,8$	16 h 20 m $n = 208,4$	19 h 15 m $n = 206,7$

$H=50$ skálaosztás azaz $4,05$ mm távolságnál a csövecske egy P erő hatására $1,8$ skálaosztásnyival odébb lökte a platinahengert. P nagyságát könnyedén kiszámíthatjuk az alábbi képletből:

Kézirat b/4/88

$$\frac{l P}{\tau} = \frac{n' - n}{2L},$$

$$\frac{20 P}{0,5} = \frac{1,8}{2464}.$$

illetve:

Tehát a taszítóerő:

$$P = 0,0000182.$$

Február 4-én az alábbi eredménnyel megismételtük a kísérletet.

$n_z = 238,0$	$n_z = 158,0$	
12 h 00 m $n = 205,1$	13 h 50 m $n = 208,7$	16 h 50 m $n = 207,0$
12 h 20 m $n = 205,05$	14 h 40 m $n = 208,9$	17 h 08 m $n = 207,0$

Ekkor $H=40$ skálaosztás, azaz 3,2 mm távolságnál a taszítóerő:

$$P=0,000018_8.$$

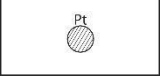
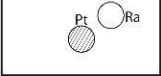
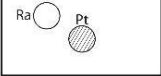

A kísérletek során a porított rádiumpreparátum végig a csövecské aljára szórva helyezkedett el, tehát mintegy 2 mm-rel volt a platinahenger tengelye alatt.

2.kísérlet

Minden az 1. kísérlettel azonosan zajlott, azzal az eltéréssel,

Kézirat b/5/89

hogy a rádiumos csövecskét felemeltük mintegy 3 mm-rel a platinahenger fölé.

			
Február 6.	$n_z = 164,0$	$n_z = 246,4$	
8 h 37 m $n = 207,6$	9 h 29 m $n = 205,8$	10 h 56 m $n = 210,8$	12 h 30 m $n = 207,6$
	10 h 18 m $n = 205,8$	11 h 57 m $n = 210,9$	

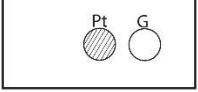
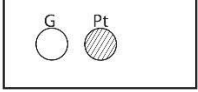
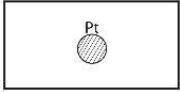
Ekkor $H=40$ skálaosztás, azaz 3,2 mm távolságnál a csövecské a platinahengert 2,5 skálaosztással vonzotta magához, tehát a vonzóerő:

$$P=0,000025_3.$$

3. kísérlet

Ennél a kísérletnél a rádiumpreparátumot tartalmazó csövecské helyett egy az 1. kísérletben megadott alakú és méretű, de üres üvegcsövet (G) helyeztünk a műszerházba.

Február 4.

		
$n_z = 172,0$	$n_z = 236,0$	
7 h 20 m $n = 207,3$	10 h 35 m $n = 207,05$	12 h 00 m $n = 207,10$
8 h 10 m $n = 207,3$		

A korábbi taszítóerő jelensége itt csak nyomokban volt érzékelhető, ⁴² mivel az erő nem lépte át a $P=0,000001$ értéket, és úgy tűnt, hogy nagysága az idővel csökken.

Többször elvégeztük ezt a kísérletet, és ezek megerősítették az elsőként kapott eredményt. Ennek a legegyszerűbb, ugyanakkor több mint könnyelmű magyarázata lehetne

⁴² Innen nyilvánvalóan hiányzik egy kéziratoldal

a 2. kísérletben kimutatott, a radioaktív anyaghoz tartozó, fajlagos vonzóerő feltételezése a Föld tömegvonzásának ugyanezen anyag általi abszorpciójával együtt, mely hatások együttesen az 1. kísérletben kimutatott taszítást okozhatták. A 3. kísérlet, amelynél nem volt jelen radioaktív anyag, hasonló megfontolásokból erősíteni látszik ezt a következtetést, de nem szabad elfelejtenünk, hogy az itt használt üvegcsé a rádiumos csövet csak a tömege szempontjából helyettesítette, nem pedig egyéb, különösen hőhatás szempontjából.

Kézirat b/7/90.

Annak érdekében, hogy ebben a kiemelten fontos kérdésben minden kétséget kizárhassunk, megvizsgáltuk egy olyan üvegcsövecské hatását, ami nem csak alakjában és tömegében volt azonos a rádiumos csövecskével, hanem folytonosan hőt sugárzott, mint az. Az üvegcsében megolvasztottunk egy 0,04 mm átmérőjű, 1,41 Ohm elektromos ellenállású, rövid platinaszálat, majd megfelelő intenzitású árammal felmelegítettük.

Ezt megelőzően gondosan összehasonlítottuk az árammal felmelegített üvegcsé és a rádiumos csövecské által, azonos idő alatt kisugárzott hőmennyiségeket. Egy ilyen, termoelektromos módszerrel végzett összehasonlítás eredménye szerint rádiumpreparátumunk egy óra alatt 0,169 g kalória hőt sugárzott,⁴³ 0,0118 Ampère áramerősségnek megfektethetően. Ezután a platinaszálat tartalmazó üvegcsét behelyeztük a műszerházba, és gondosan lezárt, kicsiny furatokon keresztül áramkört létesítettünk.

4. kísérlet

$H=50$ skálaosztás azaz 4,05 mm távolságnál 1,8₅ skálaosztásnyi eltolás lépett fel, az ennek megfelelő

taszító erő: $P=0,000018_7$

az 1. kísérletben fellépő erővel megegyezően.

5. kísérlet

Az ingarudat mintegy 3 mm-rel lejjebb engedték. Az eredmény megegyezett a 2. kísérletben mérttel:

vonzóerő: $P=0,000024_8$

A 4. és 5. kísérlet megismétlése nagyobb, $\tau=0,0250$ Ampère áramerősséggel 9 skálaosztásnyi taszítást eredményezett azonos magasságban lévő platinahenger és fűtőszál esetén (4. kísérlet), míg magasabban lévő fűtőszál esetében (5. kísérlet) a vonzóerő éppen csak észlelhető volt.

Úgy véljük, hogy ezekkel a kísérletekkel megfelelően igazoltuk,

Kézirat b/10/91⁴⁴

hogy az 1. és 2. kísérletben észlelt vonzást és taszítást nem a rádiumpreparátum különleges mechanikai hatása, és nem is a Föld tömegvonzásának abszorpciója hozta létre, hanem kizárólag a

⁴³ Itt két oldal hiányzik a kéziratból.

⁴⁴ A Kézirat utolsó oldala.

levegő felmelegedését okozó termikus hatások miatt létrejövő mechanikai elmozdulások okozták.

A felhasznált, mintegy 10 mg súlyú rádiumpreparátum tehát igazoltan semmilyen, 10^{-6} CGS nagyságrendet elérő fajlagos vonzó, vagy taszító erőt nem gyakorolt a tőle 4 mm-re lévő ingarúdra. Nem találtuk nyomát a Föld tömegvonzásának abszorpcióját okozó hatásnak sem.

10. Az eredmények összefoglalása

1. Vizsgálatok Eötvös módszere szerint

Kiindulva Newton egyenletéből:

$$P = f \frac{m \cdot m'}{r^2}$$

ahol f a vonzott test anyagi jellemzőitől függ, értéke legyen:

$$f = f_0 (1 + \kappa),$$

akkor mérési eredményeinket az ezekből számított κ fajlagos tömegvonzási együtthatóval tudjuk szemléltetni. A következő táblázatban megadjuk a $(\kappa - \kappa_{Pt})$ különbség értékeit a meghatározásukhoz tartozó középhibával együtt, ahol

$$\kappa_{Pt} = 0, \quad \text{ha} \quad f_{Pt} = f_0.$$

	$\kappa - \kappa_{Pt}$
Magnálium	$+0,004 \cdot 10^{-6} \pm 0,001 \cdot 10^{-6}$
Kígyófa	$-0,001 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}$
Réz	$+0,004 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}$
Víz	$-0,006 \cdot 10^{-6} \pm 0,003 \cdot 10^{-6}$
Kristályos rézsulfát	$-0,001 \cdot 10^{-6} \pm 0,003 \cdot 10^{-6}$
Rézsulfát oldat	$-0,003 \cdot 10^{-6} \pm 0,003 \cdot 10^{-6}$
Azbeszt	$+0,001 \cdot 10^{-6} \pm 0,003 \cdot 10^{-6}$
Faggyú	$-0,002 \cdot 10^{-6} \pm 0,003 \cdot 10^{-6}$

A származtatott $(\kappa - \kappa_{Pt})$ középérték négy esetben volt kisebb, háromban valamivel nagyobb, mint a hozzájuk tartozó középhiba, és egy esetben pedig pontosan ugyanannyi volt.

Annak valószínűsége, hogy κ értéke nullától különböző, elenyészően kicsi még ezekben az esetekben is, mivel hosszabb mérősorozatok adatainak áttekintése azt mutatja, hogy a középértéktől való eltérések közel állandók voltak, így ezek átlagértékre gyakorolt hatását csak sokkal hosszabb ideig folytatott kísérletekkel lehetne korrigálni.

A méréseket különböző fajsúlyú, molekulásúlyú és molekula térfogatú, eltérő halmazállapotú és anyagszerkezetű testeken hajtottuk végre.

Véleményünk szerint tehát kijelenthető, hogy a Föld tömegvonzására vonatkozóan ezen anyagok κ együtthatója nem éri el a $0,005 \cdot 10^{-6}$ értéket.

Annak a kérdésnek vizsgálatakor, hogy vajon egy kémiai reakció vagy oldás hatására megváltozik-e a testre ható tömegvonzás, még kisebb minimális értéket kaptunk.

A Landolt-féle ezüstsulfát-vassulfát reakció eredménye ugyanis:

$$K_{el\acute{o}tte} - K_{utána} = 0,000 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6},$$

és a kristályos rézsulfát vízben oldására Heydweiller által megadott arány alapján:

$$K_{el\acute{o}tte} - K_{utána} = 0,002 \cdot 10^{-6} \pm 0,002 \cdot 10^{-6}.$$

2. Vizsgálatok a meridiánban

A Nap vonzására vonatkozó eredményünk:

$$K_{Magn\acute{a}lium} - K_{Pt} = + 0,006 \cdot 10^{-6}.$$

3. Abszorpcióhoz hasonló hatás vizsgálatát célzó mérések, vagy közbeiktatott test hatása a tömegvonzásra

A gravitációs kompenzátorral végzett kísérletek szerint egy 5 cm vastag ólomlemez nem okoz olyan abszorpciót, amely elérné a $0,00002 \cdot 10^{-6}$ értéket.

Ennek megfelelően: egy 1 m vastag ólomlap által okozott abszorpció $0,0004 \cdot 10^{-6}$ -szor kisebb, mint a Föld vonzóereje; a Föld átmérője mentén történő abszorpció 1/800-szor kisebb, mint a Föld vonzóereje.

4. Radioaktív anyagokkal végzett vizsgálatok

Egy 20 g tömegű rádiumpreparátummal végzett vizsgálatok eredménye:

$$K_{RaBr_2} - K_{Pt} = - 0,25 \cdot 10^{-6} \pm 0,5 \cdot 10^{-6}.$$

Egy másik preparátummal végzett kísérletekből látható, hogy:

- a) nem gyakorolt 10^{-6} nagyságrendet elérő, fajlagos vonzó- vagy taszítóerőt a tőle 4 mm-re lévő, 30 g-os platinasúlyra;
- b) ez a preparátum sem okozott semmilyen érzékelhető abszorpciót a Föld tömegvonzásán.

Röviden szólva munkánk végeredményét az alábbiak szerint összegezhetjük.

Elvégeztünk egy olyan kísérletsorozatot, melynek pontossága minden korábbiét felülmúlta, ám egyik esetben sem tudtunk a tehetetlenség és a gravitáció arányosságának törvényétől való eltérést érzékelni.

**EÖTVÖS LORÁND EREDETI, NÉMET NYELVŰ
FOGALMAZVÁNYA
(DIGITÁLIS KÉPKORREKCIÓ UTÁN)**

1). Die Aufgabe, wie Sie hier aufgestellt
und behandelt wurde.
Das Newton'sche Gesetz lässt sich folgendermaßen
aussprechen:

Jeder kleinste Theil eines Körpers zieht
jeden anderen solchen mit einer Kraft an,
deren Richtung mit der Verbindungslinie beider
Theile zusammenfällt. Die Größe dem Product
ihrer Massen direct und dem Quadrat ihres
Abstandes umgekehrt proportional
ist. Sind also M und m die beiden Massen
und r ihr Abstand, so ~~bestimmt~~ ist die Größe
ihrer gegenseitigen Anziehung:

$$P = f \cdot \frac{Mm}{r^2}$$

entsprechend in Principien der Galilei-Newton'schen Mechanik ist dann
~~bestimmt~~ die Bestimmung der Mechanik.

m gegen M :

$$g = f \frac{M}{r^2}$$

Proportionalität von Trägheit und Gravität

ist also gleichbedeutend damit dass f eine Constante Größe des
(Gravitations-constants).

sach Newton fühlte sich unterstützt durch
des ~~genauen~~ Fortschritts ~~in der~~ die Kunst der Be-
rechnung irdischer und himmlischer Bewegungen
~~Nach Newton'scher Methode~~, ermöglichte ^{später} auch
eine verbesserte Ausführung ^{dieser} seinem Geiste
die genauere Naturbeobachtung. So wiesen
vor allem besonders auf die klassischen Reich-
beobachtungen Bessel's hinweisen, durch welche
die Grenze eines immetrischen noch möglich ist.
Vorzugsweise der Aufzeichnung verschiedener Körper
von $\frac{1}{1000}$ auf $\frac{1}{6000}$ verschoben wurde, bis zu $\frac{1}{20000}$
eine weitere ~~bedeutende~~ ^{viele beträchtliche Vorteile}
dieselbe Grenze ~~bis zu~~ ^{+ 1} ~~ganz~~ in neueren
Zeit durch die Untersuchungen von Eaton herabgesetzt
da unser empfindlichster Instrument die Nachfolge
sich ~~bei diesen Zwecke~~ ^{zu diesem Zwecke} Detailhaft gemacht hatte.
Die Methode und die Resultate dieser ^{Vermessung} ~~Bemerkung~~
sind nur in einer kleinen Notiz im VIII Bande
des naturwissenschaftlichen Berichtes aus Ungarn vom
Jahre 1890 bekannt gemacht, so hat es uns

~~Dann~~ und somit:

$$t_2 = \frac{L \sin \varphi}{g + C \cos \varphi} \quad \dots \dots \dots 3)$$

Zur besseren Übersicht haben wir die Werte von g , S , C und L den Daten des Bessel'schen Ellipsoids und der Uebert'schen Formel ^{entsprechend} für die geographischen Breiten eines Erdquadranten von 5 zu 5 Grad berechnet und in beifolgender Tabelle zusammengestellt. ~~Beifolgt~~ ^{hierbei} werden also ~~hierbei~~ die Werte benützt:

für die grössere Halbachse des Erdellipsoids, $a = 637739700$ cm

für die kleinere Halbachse derselben $b = 635607800$ cm

ferner

$$g = 978,00 (1 + 0,00531 \sin^2 \varphi)$$

Zur Berechnung der Centrifugalkräfte dient die Formel:

$$C = L \omega^2 = \frac{a C \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \sin^2 \varphi}} \omega^2$$

$$\text{wo} \quad \omega^2 = 5,31751 \cdot 10^{-9}$$

~~man~~ Die Winkel ε

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi$$

bestimmen, denn die Richtungen ihrer Schweren bilden.

Es betrachtet dass dieser Winkel gewiss sehr klein ist erhalten wir:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = - \frac{G' - G}{G \cos \varphi} \sin \varepsilon \quad \dots 4)$$

~~und wenn wir statt $\varepsilon' - \varepsilon$ in~~ wo wir in

Artikel 4 setzen dass ε ~~sehr klein~~ ~~klein~~ ist statt $\sin \varepsilon$ auch ε setzen können. Mit Berücksichtigung der Gleichung 1 wird dann:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = - \frac{G' - G}{g} \sin \varepsilon$$

~~folgt~~ Bericht wie nun G auf die
Korrekturen (Wasser) und also wir

$$G' = G(1 + \kappa)$$

Dann folgt:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = - \frac{G}{g} \kappa \sin \varepsilon$$

5)

2. 1. 1.

$$\frac{G'}{G} = \frac{A'}{A}$$

$$f' = f(1 + \kappa)$$

Überlegen wir uns ~~nachher~~ in welches man
sich eine solche Verschiedenheit des Schwerkraft-
wirkungswertes Körper.

mit die Forderung nach ~~der~~ Lathsenbed

Fluss, Kanton ^{versteht man sich} in einem Ruheinstand verbleibe

Woh ^{in dem in allgemeinen} war auch nicht normal auf die Temperatur

~~Wasser~~ Fließungsfläche.

[illegible]

~~Die Zeit der Komposition.~~ Die Angaben
der vorangehenden Tabelle betreffen dieser
Richtung unterschied unter dem 45^{ten} Breitengrad.

für $k = \frac{1}{1000}$ 0,357 Sekunden

für $k = \frac{1}{60000}$ 0,00595 Sekunden

für $k = \frac{1}{2000000}$ 0,000018 Sekunden

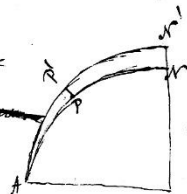
~~Beobachtung~~ ~~Beobachtung~~ ^{Viele Beobachtungen}
sahen, gestellten Richtung unterschiede sind wohl nie
~~mit der Absicht~~ ~~zu~~ ~~aus~~

~~die beschäftigende Frage~~ angestellt worden die
uns hier beschäftigende Frage zu lösen, doch
~~ist~~ wollten wir die Sicherheit ein gewisses
Aufsehen erregendes Vermode Guyot in Erinne-
rung bringen. Guyot betrachtete im Jahre
1836 im Pantheon in Paris die ~~Spiegelbilder~~
von einer ruhenden Quecksilberfläche zu-
rückgeworfenen Spiegelbildes von Marken,
welche sich längs eines 57 Meter langen
ruhenden Bandes ^{angebracht waren} ~~befanden~~, und fand dass dessen
Ende um $4\frac{1}{2}$ milli, ~~zu~~ nach Süden abwich.

von der Normale der Flüssigkeitsoberfläche. ⁴⁾ Die
 Berechnung des Werts hieraus auf eine ~~Abweichung~~^{Abweichung}
~~Richtung~~ des ~~Sehens~~ & Schwerkraft ^{in vertikaler} ~~Richtung~~ wurde
 stark bezweifelt. Verfasser selbst hatte Gelegenheit
 in einem Turme von 22 Meter Höhe durch Auf-
 hängen von Pendeln verschiedenen Materials ~~besonders~~^{besonders}
~~verschiedenartiger~~ Aufhängefäden, zu überzeugen, dass deren Erden-
 wahl ~~in~~ Abweichung ^{hier} ~~aber~~ von
 dem Grade der Ungleich erwarteten und be-
 weuten Luft herrühren.

Eine weitere Folge des von der materiellen
 Beschaffenheit abhängigen Schwereverhältnisses wäre
 eine Ungleichheit der Niveauflächen ~~abzu-
nehmen~~^{Schwerkraft}
 verschiedener Substanzen.

Sei APN in (Fig. 2) ein Meridienquadrant der Niveau-
 fläche ^{für die} ~~der~~ Normalsubstanz (Wasser), $AP'N'$ derselbe
 für eine andere Substanz ^(mit dem Ausdehnungscoefficienten K).



4) Goyot. La pesanteur n'est pas perpendiculaire à
 la surface des liquides tranquilles. C. R. XXXII
 Mémoires des Physiciens VI.

Der Abstand ~~des Niveaupunktes~~ ^{am Äquator} ~~zwischen~~ beider
 durch denselben Punkt gelegten Niveauflächen
 lässt sich dann ohne Schwierigkeiten berechnen.
~~Beweist sich ebenfalls die~~ ^{Führung wird natürlich}
 die Mannigfaltigkeit der zweiten Substant ^{von A ausgehend}
 Niveaufläche der Normalsubstanz nach P, dann
 von P nach P' und längs der zweiten Niveaufläche
 nach A zurück so ist die ^{ganze} auf diesem geschlossenen
 Wege geleistete Arbeit = 0. Also

$$\int_0^P g' \cdot r' \cdot ds + z g' = 0$$

wo ds ein Bogenelement des Meridianquadranten, z von nach abwärts positivem Abstand
 der Niveaufläche $NP'N'$ bedeutet.

Benützen wir die Beziehungen 6) und 2), so

folgt:

$$\int_0^P \frac{2}{3} K C \sin \varphi \, ds = -g' z$$

~~Es wird hier wohl genügen mit geraden~~
~~Rechnung für g' . Von längererige Rechnungen~~

~~und durch weitere Steigerung der Empfänglichkeit~~
 Versuche wie die beschriebenen sollten mehrfach
 wiederholt werden um an Beobachtungen zu gewinnen,
 auch sollte ihre Genauigkeit möglichst gesteigert
 werden, was besonders durch eine derartige Di-
 mensionierung des Apparates erreicht werden kann,
 die uns von dem Einflusse der mit ξ proportionalen
 Störgrößen befreit. Die Compensation des Wasserdampfes
 des Compensator^{massen} (mindestens in größerer Entfernung
 vom selben kommen.

Leider hatten jedoch Versuche hierzu keine Zeit.
 Betrachtet man nun die Bedeutung des ~~empf.~~
~~führt zu~~ begünstigen zu erreichen Resultats.
 Wir ~~den~~ glauben ^{aus} (dies ~~ist~~ ^{Menge einer gewissen} ~~unabhängige~~ Berechnung
 einer ~~zu~~ dieser Größe ^{unter der Voraussetzung} ~~aufgebaute~~ einer
 der durchdrachten Strecke proportionalen Absorption
 hier anzuwenden zu dürfen, handelt es sich ja doch
 nur um Feststellung einer ~~angewandten~~ mini-
~~maler~~ malen Grenzwerthe. Wohl sind wir
 aber berechtigt zu behaupten, dass die ~~man~~

die hier ~~keine~~ zu vermeiden setzen wir
mit hier noch sehr befriedigende Annäherung
g für g' und

$$ds = r d\varphi$$

$$C = r \cos \varphi \omega^2$$

mit r dem mittleren Erdradius bezeichnend.

Dann ist:

$$Z = -\frac{1}{2} \frac{K}{g} r^2 \omega^2 \sin^2 \varphi$$

und für $\varphi = 90^\circ$ d. i. ^{an einem} ~~dem~~ Pole der Erde

$$Z = -\frac{1}{2} \frac{K}{g} r^2 \omega^2$$

Setzen wir $r = 636740000$ C. und benützen
die in der Tabelle enthaltenen Werte, so
erzieht sich als grösster ^(Abstand) ~~Erhebung~~ des Niveau-
Höhe beliebiges Substanz von der des Wassers
bei den Polen zu

$$Z = -1380250 \text{ K. C.}$$

es wäre demnach

$$\text{für } K = \frac{1}{1000} \quad Z = -1380 \text{ C.}$$

$$\text{für } K = \frac{1}{60000}$$

$$z = -23^\circ \text{ C.}$$

$$\text{für } K = \frac{1}{1000000}$$

$$z = -0,069^\circ \text{ C.}$$

positiven Werten von K entspricht ^{an den Polen} eine Erhöhung, negative eine Senkung der Wasseroberfläche.

Man könnte da an eine derartige Secretion ~~indisches~~ ^{von} dieser Substanzen denken. Von solche mit positiven K sich ~~an~~ ^{um die} in der Nähe der ~~gegenüber~~ Pole, welche mit negativen K dagegen im äquatorialen Gegend sich anhängen, doch sind die eine solche bewirkenden Kräfte ^{eventuell} ^{gering} viel zu klein, die ~~gegen~~ gegen die wirkenden Widerstände aber viel zu groß um solche Ausscheidungen zu ermöglichen.

Überraschend ~~ist~~ ^{genug} ist es schon, dass so kleine Richtung Unterschiede ausreichen sind um mechanische Antriebe zu bewirken, welche wahrgenommen

19

von der Richtung der Schwere des Wassers um einen Winkel ϵ nach Norden abzuweichen des Licht zu berechnen ist. Betrachten wir nämlich die

A diagram showing a vertical rod fixed to a wall at the top. A particle of mass m is attached to the rod at a height h . A string is attached to the wall at a height $2h$ and to the particle. The string makes an angle θ with the vertical rod. The weight of the particle is mg , acting vertically downwards. The rod is labeled 'rod' and the wall is labeled 'wall'.

wo ρ_k den Dichtungsbeiwert, V_k den Volumeninhalt der Masse m_k und θ_k den Winkel bedeutet den ρ_k mit der Richtung der Wasserschwerkraft einschließt, ρ_k ist die Dichte der Masseneinheit von m_k und θ_k die Abweichung ihrer Richtung von der der Wasserschwerkraft.

Wir wollen nun unsere weiteren Rechnungen auf
 ein ~~eben~~ rechtwinkeliges Koordinatensystem bezogen
 dessen ~~die~~ Z-Achse mit der Drehungsachse (Mersdrach)
 zusammenfällt und nach Osten gerichtet ist,
 während die X-Achse nach Norden die Y-Achse
 nach Osten gerichtet seien. Das aus den ~~vorher~~
~~bisher~~ betrachteten Richtungsabweichungen entspringende
 Drehungsmoment der Scheibe ist dann:

$$-\sum m_k g_k y_k (r_k - E) = -\sum m_k g_k y_k r_k + E \sum m_k g_k y_k$$

~~Ab~~ ~~da~~ ~~da~~ ~~aber~~ ^{in Folge} des Gleichgewichtes
 um die X-Achse

$$\sum m_k g_k y_k = 0$$

so beschränkt sich dieses Drehungsmoment
 auf das erste Glied:

$$= -\sum m_k g_k y_k r_k$$

~~An~~ ~~Bei~~ Den ~~hier~~ Drehwäagen, welche hier
 benutzt wurden waren die verschiedenen ^{en} Massen
 längs eines geraden Stabes angebracht. ~~und~~

Wenn nicht zu mehr, doch wenigstens zur Behauptung
berechtigen, dass die ~~die~~ Höhe der Sonnenflutten
jenseit der Brandflutten nicht übersteigt, so haben
wir bereits auch den Beweis ^{deutlich} geliefert, dass die
Anziehung der Sonne längs eines Erdhalbmessers
weniger als ihren Zehntausendstel Teil einbüsst.
In diesem Beweise gelangen wir mit Hilfe
unserer letzten Formel, indem wir in ihr $\frac{z}{z'} = 1$ und
 $\frac{z_0}{z'} = \frac{1}{2,2}$ setzen.

Genauere Resultate können aber auch wohl von
Beobachtungen der Flut erzeugenden Kräfte selbst
zu erwarten.

Solche stehen uns schon heute zur Verfügung.
~~Interessant~~ Vor uns liegt das von Karpman
erschienene schöne Werk von O. Hecker „Beobach-
tungen an Horizontspiegeln etc.“ (Veröffentlichung
des K. Preuss. Geodätischen Instituts Neue Folge Nr. 32. 1907.)
reich an Beobachtungen, welche an 3 aus ihnen ^{abgeleitete} gezogen

Die Größe dieses eventuellen Drehungsmomentes,
 ist durch ein Beispiel erläutert.
 Möge an beiden Enden einer ^{40 g. langen} homogenen Stäbe zwei Personen
~~verschiedenen Massen von je 25 g. je 25 g.~~
~~= verschiedener Substanzen~~ von je 25 Gramm
 hängen. Unter dem 45°-Winkel, wo $\sin \epsilon = 1,7$,
 ist dann das in Folge der an den Enden des Stäbes
 nach unten ~~Wirk~~ wirkt.

$$D = 25 \cdot 20 \cdot 1,7 (K_b - K_a) = 850 (K_b - K_a)$$

Wenn aber das 4 Ende nach Westen zeigt

$$D' = -850 (K_b - K_a)$$

also $D - D' = 1700 (K_b - K_a)$

Wäre $K_b - K_a = 10^{-6}$ so ergäbe sich

$$D - D' = 0,0017$$

und dieses Drehungsmoment würde an einem ~~Stäbe~~
 Drahte, dessen Torsionskonstante ^{0,5} und ~~Stärke~~
~~spezifische Tragfähigkeit~~ ~~bestimmen kann~~ eine ~~Drehung~~ bewirken
 welche in der Entfernung von 1500 Skalenteilen
 abgelesen ~~eine~~ in Skalenteilen ausgedrückt

$$n - n' = \frac{0,0017}{0,5} \cdot 3000 = 10,2 \text{ Skalenteile}$$

hoch)
~~Die~~ in hiesiger Solarbeobachtung.

Die Beobachtungen geschahen an zwei
 Horizontalpendeln, ihr ~~Haupt~~^{End}center ist auf
 Seite 31 und Seite 32 der Abhandlung in folgenden
 Formeln zusammen gestellt:

$$\text{Pendel I} \begin{cases} \text{berechnete Mondanweisung} : 0^{\circ}00922 \cos(2t - 305^{\circ}8) \\ \text{beobachtete Mondweite} : 0^{\circ}00622 \cos(2t - 185^{\circ}4) \end{cases}$$

$$\text{Pendel II} \begin{cases} \text{berechnete Mondanweisung} : 0^{\circ}00900 \cos(2t - 48^{\circ}7) \\ \text{beobachtete Mondweite} : 0^{\circ}00543 \cos(2t - 63^{\circ}2) \end{cases}$$

$$\text{Pendel I} \begin{cases} \text{berechnete Sonnenanweisung} : 0^{\circ}00399 \cos(2t - 305^{\circ}8) \\ \text{beobachtete Sonnenweite} : 0^{\circ}00244 \cos(2t - 273^{\circ}6) \end{cases}$$

$$\text{Pendel II} \begin{cases} \text{berechnete Sonnenanweisung} : 0^{\circ}00389 \cos(2t - 48^{\circ}7) \\ \text{beobachtete Sonnenweite} : 0^{\circ}00585 \cos(2t - 48^{\circ}3) \end{cases}$$

Wir wollen uns hier nicht näher mit der
 befriedigenden
 Übereinstimmung der ~~beobachteten~~ beobachteten
 und berechneten Phasen beschäftigen, uns interessiert
 mehr die Verhältnisse der Amplituden für Sonne
 und Mond, diese mit A_s und A_m bezeichnet seien wir

$$\mathcal{D} = \frac{1}{2} \frac{\tau}{T} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{\tau}{T} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \frac{M_h l}{T} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} \sin \alpha + \frac{M_h l}{T} \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial z} \cos \alpha + \frac{1}{T} \left\{ \sum m_b l_b k_b - \sum m_a l_a k_a \right\} \sin \alpha \cos \alpha \dots 8)$$

τ bedeutet hier die Torsionskonstante.

Bei der Feststellung dieser Gleichung 8) sind die auch mit Rücksicht auf das letzte Glied vernachlässigt worden, welche die erweiterten Differentialquotienten des Potentials U in F von verschiedener Anziehung verschiedener Substanzen erleiden könnten.

~~Bemerkung: wenn man sich die Wahl in α zu beachten~~

dass die Größe

$$\sum m_b l_b - \sum m_a l_a$$

beachtet werden darf,

hier nicht mehr ~~als~~ ^{strömte als} ~~Abhängig~~ gleich Null ~~ist~~!

denn bleibt dieselbe von der Ordnung der Größe $\sum m_b l_b k_b - \sum m_a l_a k_a$

da für das Gleichgewicht nur eine horizontale

bezie

~~$$\sum m_{lg} g_g - \sum m_{lg} g_g$$~~

$$\sum m_{lg} g_g - \sum m_{lg} g_g = 0$$

sich muss
(und das Verhältnis $\frac{g_g}{g_l}$ nur aus einer Bruchzahl $\frac{1}{2}$
~~von der Einheit verschieden ist~~ ^{also} von der Ordnung $\frac{1}{2}$
der GröÙe k ~~ist~~ wie k ist.

Für die Distanz ~~und~~ Für die Distanzen gehörige
oben beschriebener Art ^{Können wir} ^{dann} ist im Falle die Röhre
an beiden Seiten gleich lang, homogen und ^{gleich} von gleicher
Stärke ist, setzen:

$$\sum m_{lg} k_g - \sum m_{lg} k_a = M_{lg} k_g - M_{lg} k_a$$

also mit Vervielfachung der mit M_{lg} multipli-
zieren Glieder

$$\sum m_{lg} k_g - \sum m_{lg} k_a = M_{lg} (k_g - k_a) \dots (8')$$

Die Gleichungen 8) ^{2.8')} ~~werden uns später den Weg~~
anweisen wie ^{durch} ~~Elongationen~~ ^{mit Hilfe von} alle anderen
Unbekannten die GröÙen $(k_g - k_a)$ ^{durch} Beobachtungen
bestimmt werden können und so die Frage gestellt werden kann ob ihre
GröÙen, ~~oder~~ ^{oder} ~~ausgewiesen werden kann, dass~~
Werte die GröÙe der Messungen erreicht.
~~GröÙen unter dem Werte der Messungen bleibt.~~

Voraus.

indem in der vorliegenden Fragestellung
die Frage steht, werden kann ab ~~6~~ ¹⁰ die
Beziehungen eines noch ungenannten Werts ~~von~~
7-1 ~~zu~~ ergeben.

Versuche nach E. der Methode von Schwes
geben uns aber nur Aufklärung über die
Anziehung eines einseitigen Körpers ^(sicherlich die Erde) ~~des~~
von ~~dem~~ ^{dem} Gewicht ist es von Interesse zu
untersuchen ob nicht auch ^{die Anziehungen von} Sonne und Mond,
den ~~Anziehungen~~ ⁱⁿ in der ~~Erde~~ ^{Flutkerzen} Flutkerzen-
mengen und in den Richtungsänderungen der
Lichter ^{Hitzstrahlen} ~~mit~~ ^{mit} zur Aufklärung ~~der~~
~~unserer~~ ^{hierzu} Frage ~~guten~~ ^{guten} könnten?
In kurzer annähernder Behandlung des so komplizierten
~~Phänomens~~ ^{Phänomens} wollen wir hierauf Antwort geben.
~~Die~~ ^{Die} ~~Ercheinungen~~ ^{Ercheinungen} ~~bestehen~~

Die sogenannte Flutkerzengende Kräfte können
mit aus zwei Componenten zusammensetzen:

neg. der Mondes und der Erde beschriebt. Diese ^{ist} ~~ist~~
~~für~~ jedes Teilchen der ~~von~~ ^{ihres} ~~Umdrehung~~ ^{Umdrehung}
~~um das Drehen der Erde gleiche Masse beschriebt~~
 befreiten Erde gleich groß und gleich gerichtet,
 wir wollen sie ~~mit C~~ auf die Masseneinheit
 bezogen mit C bezeichnen.

Da ~~ist~~ die auf die ganze Erde ~~in~~ ^{ausge-}
 übte Anziehung und die Ausstrahlungskraft ihres
 ganzen Masse ~~von~~ ^{ist} gleich groß sein
 müssen, so haben wir:

$$C = f_0 \frac{M}{R^2}$$

Wo R die Entfernung des Trägheitsmittelpunktes
 der Erde vom gemeinschaftlichen Trägheits-
 mittelpunkte von Sonne und Erde neg. vom Mond
 und Erde bedeutet. Das Zeichen f_0 bezeichnet hier
 einen ^{einen} ~~einen~~ Mittelwert der für verschiedene
 Substanzen der Erde eventuell verschiedenen Werte
 von f .

Diesen Betrachtungen ^{und unter Annahme einer Kugelform} ~~entsprechend erhalten~~
 wir dann ^{als} Komponenten des auf ein ^{ein} ~~ein~~ ^{individuelles}
 Koordinatensystem bezogenen Kräfte:

(Fig. 5)
eine nach oben gerichtete vertikale Kraft:

$$-Z = f \frac{M}{g^2} \cos^2 \delta - C \cos \delta + f M \frac{a}{g^2} (\cos^2 \delta - \sin^2 \delta)$$

und eine ~~vertikale~~ horizontale Kraft H , ~~welche~~
~~an jenem Punkte des Horizontes angreift~~
~~der unter der Sonne oder dem Mond steht:~~

$$H = f \frac{M}{g^2} \sin^2 \delta - C \sin \delta + \frac{3}{2} f M \frac{a}{g^2} \sin 2\delta$$

Die hier angeführte annähernde Berechnung durch
eine vollständige zu ersetzen, würde den Nutzen
dieser Abhandlung übersteigen ~~und auch~~ ~~überflüssig~~
diesem Satze wir

$$f = f_0(1+k)$$

es wird:

$$-Z = k f_0 \frac{M}{g^2} \cos^2 \delta + f M \frac{a}{g^2} (\cos^2 \delta - \sin^2 \delta) \dots 9)$$

und
$$H = k f_0 \frac{M}{g^2} \sin^2 \delta + \frac{3}{2} f M \frac{a}{g^2} \sin 2\delta \dots 10)$$

Wenn $k=0$, so sind dies die gewöhnlichen
die Plutonen ~~erzeugenden~~ Kräfte darstellenden
Kraftkomponenten. (Siehe z. B. Thomson-Tait,
Handbuch der Theor. Physik I Bd. § 872).

+ In diesem Diagramm bedeutet δ die Senkrechte des Sonnen oder Mondes
zu den wirklchen Ekliptiken der Erde + Mit
nach jenem Punkte des Horizontes projiziert in dem
Kontexte von oben oder unten im Winkel δ der Senkrechten der Erde +



Fig. 5

Das Argument der Sonne oder des Mondes bedeutet
~~den Winkel zwischen der Ebene der Ekliptik und der Ebene der Meridiane~~
 Wenn A die ~~Rektifikation~~ ^{bedeutet} der Sonne oder des Mondes, so ist die auf die Ekliptik wirkende Kraft H gleich $-H \sin A$,
 normale Komponente ~~der Kraft~~ ^{der Meridiane} ~~der Kraft~~ ^{(vertikal) senkrecht},
 und wir erhalten für die Driftung des Meridians:

$$\begin{aligned} d &= d_0 - \frac{1}{2} \frac{M}{\sigma_0} \left\{ \sum m_a l_a k_a - \sum m_b l_b k_b \right\} \sin d \sin A \\ &\quad - \frac{3}{2} \frac{1}{\sigma_0} \frac{M}{\sigma_0} \cdot \frac{a}{\sigma_0} \left\{ \sum m_a l_a^2 - \sum m_b l_b^2 \right\} \sin d \sin A \\ &\quad - \frac{3}{2} \frac{1}{\sigma_0} \frac{M}{\sigma_0} \cdot \frac{a}{\sigma_0} \left\{ \sum m_a l_a k_a - \sum m_b l_b k_b \right\} \sin d \sin A \quad \dots \dots 11) \end{aligned}$$

Das letzte Glied ~~des~~ der rechten Seite
 einer Gleichung stehenden Ausdrucks kann
 wegen des Faktors $\frac{a}{\sigma_0}$ vernachlässigt werden, ebenso
 auch das vorangehende Glied weil

$$\sum m_a l_a \approx \sum m_b l_b$$

aber von derselben Größenordnung ist wie
 $\left\{ \sum m_a l_a k_a - \sum m_b l_b k_b \right\}$, so ~~daß~~ ^{das die Näherungsweise}
 die Formel benutzt werden darf:

$$d = d_0 - \frac{1}{2} \frac{M}{\sigma_0} \left\{ \sum m_a l_a k_a - \sum m_b l_b k_b \right\} \sin d \sin A \quad \dots 12)$$

An einem Beispiele können wir uns nun
~~über die Größe und Mess-~~
 bkeit dieser Drilling Aufklärung verschaffen.
 Benutzen wir das im vorausgehenden Beispiele
 beschriebene Instrument, für welches

$$\{m_a k_a - \{m_b k_b = M_a l_a (k_a - k_b)$$

gesetzt werden kann und $M_a = 25 \text{ gr.}$, $l_a = 20 \text{ C.}$

$\tau = 0,5 \text{ ist.}$

~~Also werden die Ausdrücke benötigt sein~~
~~in die Beispiele der Sonne folgen wir~~

Es sei ferner: ~~der~~

$$\text{für die Sonne: } f_0 \frac{M}{g_e} = 0,586$$

$$\text{für den Mond: } f_0 \frac{M}{g_e} = 0,0032$$

Dann erhalten wir die der Sonnenanrichung entspre-
 chende Drilling:

$$D = D_0 - 586(k_a - k_b) \text{ ein Dm in } \hat{A}$$

die der Mondanrichung entsprechende:

$$D = D_0 - 3,32(k_a - k_b) \text{ und in } \hat{A}$$

~~Die letzte~~ wir wollen uns ^{hauptsächlich nur} mit der

$$\delta - \delta' = 586 (k_a - k_b) (\sin A' - \sin A)$$

und ~~was~~ ~~in~~ ~~sin~~ ~~$\delta - \delta'$~~ = für den Fall dass

$$\sin A' - \sin A = 2$$

ist, wie dies nur bei der Tag- und Nachtgleiche annähernd zutrifft
~~unter dem Äquator, und stet $\delta - \delta'$ den~~

~~entsprechenden Wert in Skalenteilen für eine~~
~~Strecke in der Entfernung bei einer Entfernung von~~
~~1500 Skalenteilen~~

$$\delta - \delta' = 1172 (k_a - k_b)$$

oder in Teilen einer Skala ~~bei~~ ⁱⁿ der Entfernung
von 1500 Skalenteilen

$$n - n' = 3516000 (k_a - k_b)$$

Für $(k_a - k_b) = 10^{-6}$ würde sich daher eine
Elongation von

$$n - n' = 3,5$$

ergeben.

Die Empfindlichkeit ~~in~~ ^{in den Skalentheilen} ~~der~~ ~~Skala~~

einer auf diese Betrachtungen gegründeten

Beobachtungsmethode ist also etwa ^{nur} ein Drittel

des von Eötvis angegebenen, solange nährungs-
 weise dasselbe Instrument benützt wird. ^{dem} ~~Truly~~ ~~stets~~
 verspricht dieses neue ~~das~~ Verfahren manche Vorteile,
 da es sich auf Beobachtungen ^{an} ~~an~~ ^{einigen} ~~einigen~~ ^{stabilen} ~~stabilen~~
 Instrumente stützt, und somit ein solches von
 viel größerer Empfindlichkeit benützt werden
 kann. Das Eötvis'sche Gravitationscompensa-
 tor¹⁾ erlaubt ja ~~das~~ ~~Empfindlichkeit~~ bei
 Ausschluß störender Einflüsse, die Empfindlichkeit
 solcher stabiler Torswaagen bis zu einer beträchtlichen
 Grenze zu steigern.

Beide Verfahren ergänzen sich ^{abgesehen} ~~in der~~ ^{weise} ~~daß~~
~~das erste~~ über die Ausrichtung der Erde,
 das zweite über die Ausrichtung der Sonne ^{und der} ~~der~~ ^{gewinnenden}
 ertheilt.

¹⁾ Eötvis, Untersuchungen über Grav. u. Erdmagnet. Wiedemanns Annalen Bd. 89 S. 392

3) Näheres über die Ausfüh^{von Beobachtungen}
~~Beobachtungen~~ ^{nach} der von Eöt~~ter~~^{ter} angegebenen
 Methode.

Benützt wurden zwei Instrumente derselben
 Art wie sie Eöt~~ter~~^{ter} bei seinen Untersuchungen
 lokaler Schwerevariationen benützt und im
 I. Bande der Abhandlungen der IV^{ten}
 Allgemeinen Konferenz der Erdmessung (1906)
 beschrieben hat. Es sind dies Drehwaagen
 von grosser Empfindlichkeit, ~~welche~~ ^{die} um eine
 vertikale Achse drehbar, also für die hier
 behandelten Untersuchungen eben geeignet sind.

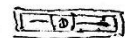
Fig. 6 stellt das eine ~~Instrument~~ ^{von Eöt~~ter~~^{ter}} dar, das einfache Schwerenormals,
 gemeintes Instrument im vertikalen, Fig. 7 im hori-
 zontalen Querschnitt dar.

Der ~~Drehwaage~~ ^{Gehäuse} ~~besteht~~ ^{ist} aus einem
 3 mm. dicken Messingblech und ^{an gleichstarke} Füllungsrohre

Fig. 6



Fig. 7



hergestellt, welche das Gehänge zweifach, im unteren
~~Cap~~ herabhängenden Theile sogar dreifach ausschlagen.
 Dieses Gehäuse ist nun eine vorläufig stützende
 kleine Dreiecke und auf festem Gestelle aufgesetzt
 wobei nur ~~Bestimmung~~ ^{Bestimmung} ~~Herstellung~~ der Größe
 ihrer Drehung ein in Drittel grade getheiltes mit ^{bis zur Genauigkeit} ~~bestimmte~~ ^{eingetragene}
 Kreis dient.

Das Gehänge besteht aus einer dünnwandigen
 Messingröhre von ^{ca} 40 cm Länge und ~~ca~~ 0,5 cm
 Durchmesser; in diese ist an einem Ende (A)
 ein Plein cylindrischer von circa 30 gr. Gewicht hinein-
 gesteckt, während am anderen Ende (B)
 die ~~zu untersuchenden~~ ^{zu untersuchenden} ~~verschiedenen Körper~~
 verschiedenen Körper auf dünnen Drähte
 aufgehängt werden. ~~Hier~~ ^{Hier} ~~durch~~ ^{durch} ~~muß~~ ^{muß} das
~~Gewicht~~ ^{Gewicht} ~~des~~ ^{des} ~~Körpers~~ ^{Körpers} ~~stets~~ ^{stets} ~~so~~ ^{so}
~~ausgezeichnet~~ ^{ausgezeichnet} ~~werden~~ ^{werden}, ~~das~~ ^{es} ~~selbe~~ ^{selbe} ~~den~~
~~am~~ ^{am} ~~anderen~~ ^{anderen} ~~Ende~~ ^{Ende} ~~konstant~~ ^{konstant} ~~belastet~~ ^{belastet}, ~~so~~ ^{so} ~~daß~~ ^{daß} ~~es~~ ^{es} ~~in~~ ⁱⁿ ~~die~~ ^{die} ~~selbe~~ ^{selbe}
~~Position~~ ^{Position} ~~in~~ ⁱⁿ ~~der~~ ^{der} ~~selben~~ ^{selben} ~~thermostatische~~ ^{thermostatische} ~~Lage~~ ^{Lage} ~~bringe~~ ^{bringe}.

Die Aufhängung geschah dergestalt, dass der Trägheitsmittelpunkt

dieses Körpers ^{man} ungefähr ~~um~~ 21 Centimeter unter
die Balkenklappe zu liegen kommen. Diese Länge
 $\frac{1}{2}$ musste ^{hinter} ~~bei~~ einem Theile des Vertriebes bekannt
sein, ~~und~~ in welchem Zwecke nebst dem Katho-
thermester ~~und~~ auch noch eine zweckentsprechend
~~an~~ eingerichtete Waage ~~benutzt~~ ^{benutzt} wurde. ~~an~~
~~An dieser~~ ^{hier} ~~Mit~~ ^{anordnend} ~~blüßte~~ ^{konnte} ~~man~~ die Lage des
Schwerpunktes in dem magneteten, ~~und~~ nicht
immer ~~hanging~~ aus ~~ein~~ ^{ein} einzigen Punkte
bestehenden Körper durch die Veränderung bestimmt
werden, welche ^{ihre} ~~die~~ Empfindlichkeit ~~des~~
dann erlitt, wenn der Körper aus Waagebalcken
befestigt wurde. Die erreichte Genauigkeit
war ~~nicht~~ für $\frac{1}{2}$ etwa $\frac{1}{10}$ millimeter, was mehr
als ausreichend ist.

als ausweichend ist.
Um die Lage
~~des Instrumentes~~ ^{beim} ~~des Drehung~~ ^{der} ~~des Schmelzballung~~ ^{bestimmen} zu können
wurde ein Spiegel ~~an dem~~ ^{an} ~~behaftet~~ ⁱⁿ und ~~mit~~ ^{an} ~~der~~ ^{der}
Einspiegelung von circa 60 Centimetern
~~mit einem~~ ^{mit} ~~einem~~ ^{einem} ~~sehr~~ ^{sehr} ~~verbreitete~~ ^{verbreitete} eine ~~mit~~ ^{mit} ~~in~~ ⁱⁿ ~~heli-~~ ^{heli-}
millimetern feinte Skala ~~angebracht~~ ^{angebracht}. Die Abbe- ^{mit dem Drehwagen}
sung geschah mit gebrochenem Fernrohr, ~~und~~ ^{und} ~~um~~ ^{um}
den Apparat des Instrument in möglichst kleinem

Raum aufstellen und beobachten zu können.
Zur Aufhängung der ganzen etwa 80g schweren Gehäuses, also ab, Mendrähte be-
nutzten wir solche aus Platiniridium von 0,04 mm
Durchmesser und circa 60 cm Länge. Die Drähte
wurden bei einer Belastung von 80 gr. langsam
bis über 100°C erwärmt und wieder abgekühlt
und erlangten nach mehrmaligen Wiederholen
dieses Prozedurs ~~und~~ nach dem Verlaufe von
einigen Monaten eine ^{nachdem vollkommen} Constanz des Gleichge-
wichts Lage, wie die ~~Kurve~~ ^{Aufhängedraht} heraus besser gesehen
~~wurde~~ ~~beim ersten Selbst~~ die heftigen Erschütterungen,
welche bei der Umdrehung des Instrumentes
namentlich bei excentrischer Lage | der Aufhängedraht
~~Vermachen~~ ~~eintreten~~ ~~langen~~ im Allgemeinen keine bemerkbaren,
~~und~~ nur in wenigen Fällen ~~sich~~ sehr kleine Vor-
schübe beim Gleichgewichtslage.

Versuche, die wir mit Quarzfäden anstellten, ergaben bei weitem nicht so günstige Resultate.

~~Ein, wie es sich in der Verwendung von~~
~~Druckdrücken.~~ Die Gleichgewichtslage behörter
 Metall Drücke ist aber von der Temperatur
 abhängig, Es ist dies die Folge der anomalen
 Dillung mit welcher sie die Öse verlassen, das
 für jeden Drahtstück verschieden. Diese Abhängigkeit
 ist eine sehr complicirte, die Verrückung der
 Gleichgewichtslage ist ^{nämlich} nicht allein von der
 Temperaturänderung sondern auch von ihrem
 zeitlichen Verlaufe abhängig. Bei so kleinen
~~und langsamen~~
 Temperaturänderungen aber, wie jene bei welchen
 die hier behandelten Beobachtungen angestellt wurden,
 wo ~~die~~ ^{der} im ^{Verlaufe} eines Tages einige Schützel
 Grade nicht übersteigen, kann diese Verbindung
 der Gleichgewichtslage mit Hilfe eines für jeden
 Draht individuellen Temperaturcoefficienten befrie-
 digend dargestellt werden. Für ^{den Draht des} ~~den~~ ^{von uns be-}
 nützten einfachen Schwere ^{variometers} ~~variometers~~, ^{beobachtet} ~~beobachtet~~
~~ist~~ ^{ist} dieses Coefficient $\frac{dn}{dt} = 0,8$, wenn n die ^(kleine)
 Skalenablesung der Gleichgewichtslage, t die Temperatur bedeutet,

für die Kräfte des zweiten benützten Instrumentes
ist ~~das~~ dasselbe noch viel kleiner.

Dieses zweite ~~von~~ ~~Instrument~~ ~~ist~~
war ein Doppeltes Schwerevariometer so
benannt von Eötös, ^{weil} ^{aus} es zweien parallel
nebeneinander verbundenen ~~einfachen~~ ~~Schweren~~
~~einfachen Schwerevariometern~~ ~~besteht~~ ~~besteht~~ ~~besteht~~, welche
~~besteht~~ ~~besteht~~ besteht, die auf gemeinsamen
Stelle um dieselbe Achse gedreht werden
können. Diese ^{zwei} einfachen Drehwagen sind von
derselben Art wie die des einfachen Schwere-
variometers, ihre Balken ^{sind} nahezu parallel
aber ~~in~~ ^{so} ~~entgegen~~ ~~entgegen~~ ~~entgegen~~ gerichtet, dass
die ~~an~~ ^{ihren} ~~hängenden~~ ~~gewichte~~ (Ma) an ~~entgegen~~ ^{ihren} gerichteten
Enden ~~hängen~~ ^{liegen}. Wenn also das hängende
Gewicht der einen Balkens nach Norden gerichtet ist,
zeigt das hängende das hängende Gewicht der anderen
Balkens nach Süden u. s. w.

17.
Soweit folgten wir den Anweisungen von Sottori,
~~den~~ ~~beobachten~~ ~~wir~~ ~~aber~~ ~~an~~ ~~unserem~~ ~~Instrumente~~
~~sie~~ im Verlaufe der Beobachtungen ~~sie~~ ist es
uns aber gelungen durch ein einfaches Mittel,
die Instrumente um Viel leistungsfähiger zu
machen. Da nämlich ~~das~~ ~~von~~ ~~unserem~~ ~~Instrumente~~ ~~nach~~ ~~nach~~ ~~unserem~~
die gleichgewichtslage des Balkens im ~~einigen~~ Gleich-
gewicht selbst als ~~abgelesen~~ ~~von~~ ~~best.~~ ~~abgelesen~~ ~~wird.~~ ~~Balken~~
~~oder~~ ^{einstelemt!} ~~Nullpunkt~~, wenn ~~der~~ ~~Balken~~ ~~in~~
~~der~~ ~~Null~~ ~~Stellung~~, ~~erfordert~~ so erfordert die Bestimmung
je einer ~~Gleichgewichts~~ ^{neuen} durch Drehung bewirkten
Gleichgewichtslage einen Zeitaufwand welcher
von dem der Balkenbewegung entgegen wirkenden
Widerstande abhängig ist. Das Zeit ^{intervall} ~~best.~~ zwischen
den Ablesungen zweier aufeinander folgenden ~~Ab-~~
& Einstellungen ~~der~~ ^{so} ~~Kante~~ ^{ursprünglich} ~~an~~ ~~der~~ ~~Ablesung~~
nicht kleiner als ⁱⁿ zwei, in manchen Fällen gar nicht kleiner als
ⁱⁿ drei Stunden folgeschritten werden. Einfache Rechnungen,
deren Ausführung ~~nicht~~ ~~höchstens~~ ~~gerade~~ ~~hier~~ ~~Kaum~~
an Platze wäre, zeigten uns aber dass dieses

Zeitintervall ^{unverrücklich} auf eine Stunde reducirt werden
~~Kamm~~, wenn der ~~Widerstand~~ gegen die Bewegung des
 Balkens wirkende Widerstand nahezu gleich ~~gemacht~~
~~gemacht wird~~ ^{dem} kleinsten Widerstande gemacht
 wird, welches die Bewegung ^{zu einer} aperiodischen gestaltet.
 Diese erwünschte Vergrößerung des Widerstandes
 wurde ~~dadurch erreicht, dass durch das Durch-~~
^{entsprechender Dicke}
 Einlegen von Messingplatten (am Boden ~~des~~ und
 an den ~~Seiten~~ ^{Decken} des inneren Gehäuses erzielt.
 Die innere Lichte des Gehäuses wurde so auf
 etwa 9 m.m. reducirt.

~~Es~~ ~~nach Aufbringen~~ ^{haben} Nachdem wir diese Platten
 angebracht kommt wie dann ~~noch~~ in gleicher Zeit
 zwei, dreimal soviel verrücken als vorher.

Beobachtungen mit so heiklen Instrumenten
 sollten in Erschütterungsfreiem Localen ausge-
 führt werden die auch von Temperaturschwankungen

und ~~in~~ namentlich den Wirkungen einseitiger
 Bestrahlung möglichst geschützt sind. Kellerräume
 ohne Fensteröffnungen würden dieser Bedingung
 am besten entsprechen. Leider standen uns keine
 solchen zu Gebote. Die Zeit drängte und es
 mussten wir uns mit einem ^{Bestandteile} ~~Zimmer~~ begnügen,
 welches im ersten Flure des uns zu Gebote
 stehenden Laboratoriums lag und zwei nach Süden
 gerichtete Fenster hatte. Gegenüber stehende höhere
 Gebäude ^{Wände} ~~hatten~~ aber ^{auf} ~~die Sonne~~ diese Fenster
 während dem grösseren Theile des Tages ^{ihren Schatten,}
 auch wurden sie durch Rollvorhänge ^{geschlossen,} versperrt
 und so das Zimmer stets finster gehalten. Zum
 vollsten eigenen Schutze wurde noch ^{in dem Zimmer} ~~jedes~~ ^{ein} ~~Instrument~~
 Instrument in ein eigenes Häuschen ^{dessen} ~~das~~
 Wände aus je zwei ~~einzelnen~~ ^{starken} in Rahmen
 angespannten Leinwandstücken bestehen, ^{die sind im} ~~den~~ ^{Wänden}

raum mit seinen Lagespannen gefüllt, und
gestephten Decken ähnlich abgeteilt sind.
~~Vor Erschütterungen war der Raum auf~~
~~der Lauf der Beobachtung~~

~~Am Anfang unserer Beobachtungen hatten wir~~
~~nicht~~ Da der ^{Raum} ~~Gebäude~~ im Innern war bestanden
absichts vom Straßenverkehr lag, hatten wir zu häufige
Kleinigkeiten Ursache ~~aus~~ wegen starker Er-
schütterungen ^{besorgt zu sein} ~~zu sein~~, ~~das~~
~~Beobachtung~~ ~~stehen~~ ~~beide~~ verschlimmerten sich
aber die Verhältnisse durch einen Neubau ~~in~~ der
in unmittelbarer Nähe während der Beobachtungen
in Angriff genommen wurde. Wohl zeigen die
Beobachtungen ^{resultate} keine ~~merklichen~~ bedeutenden
Einflüsse dieser Störungen, doch sind wir davon
wohl bewusst, dass die Beobachtungen die
wir hier mitteilen nicht unter den günstigsten
Verhältnissen ausgeführt sind und auch nicht die

ist wohl ^{dem} ~~für~~ Menschen unerschöpflich, doch
sollen wenigstens ^{jene schmerzhaften} ~~die schmerzhaften~~ Einwirkun-
gen nach Möglichkeit vermieden werden,
die ^{vorher} ~~vorher~~ ^{bei} ~~bei~~ ⁱⁿ einem gewissen Grade ^{bekannt sind} ~~bekannt sind~~.

~~Die hauptsächlichsten dieser Einwirkungen~~
und die ~~bei~~ ^{die} hauptsächlichsten dieser Einwirkungen
wollen wir der Reihe nach aufzählen, und ~~die~~ ^{die} auch ~~die~~ ^{die}
~~angeben~~ ^{angeben} ~~und~~ ^{und} ~~die~~ ^{die} für unsere Beobachtungen
merklich machten.

Die magnetischen Kräfte, insbesondere die
erdmagnetische Kraft, ~~die~~ ^{die} müssen sich fühlbar
machen wenn das Gehäuse remanent magnetische
Theile enthält. Ein Theilchen ~~mit~~ ^{mit} ~~der~~ ^{der}
~~von~~ ^{von} ~~mit~~ ^{mit} $\frac{1}{1000}$ C.G.S. magnetischen Moments, wie
das ein Splitter aus ^{guten} ~~guten~~ Stahlmagnet von nicht mehr
^{als} ~~als~~ $\frac{1}{50}$ Gewicht ~~benutzt~~ ^{benutzt} könnte kein Umdrehen
des Drehwage ^{störnde Verschiebungen} ~~störnde Verschiebungen~~ ^{verursachen} ~~verursachen~~
von 2 ganzen Skalenteilen ^{entstehen} ~~entstehen~~ verursachen.

Durch sorgfältige Wahl der Stücke aus denen
das Gehäuse ~~gebildet~~ ^{gebildet} zusammengefügt wird ist es

wohl möglich ein solches ^{Schäufel} zu erhalten und das
 trotz ~~dem~~ ^{ganzen} ~~Einzel~~ ^{ganzen} ~~Stück~~ ^{ganzen} ~~als unmagnetisch~~
 gelten kann, doch ~~muß~~ ^{am besten} bei unseren Versuchen,
 wo die hängenden Theile wiederholt durch ~~andere~~
~~mit~~ ~~solchen~~ ~~aus~~ ^{neue} vertauscht werden, ^{dem} ^{Werkstoff}
 auch noch auf andere Weise ~~den~~ ~~angewandten~~
~~Einwirkungen~~ ^{vor} ^{gebeugt} werden. Wir ^{horizontalen} ^{Componente} ^{des} ^{Erds}
 desfalls die ^{horizontalen} ^{Componente} ^{des} ^{Erds} ^{Kräfte} ^{ist} ^{dass}
 im Ramm jeder Instrumente ~~ist~~ ^{ist} ^{haben} ^{gleich} ^{nicht} ^{gemacht}
~~werden~~ ^{wurde}, wegen permanenten Magnete
 und Elektro-magnete dienen. Diese Conzen-
 sierenden Magnete mussten aber in größerer
 Entfernung (denn 1,4 Meter) ^{und so} ^{auf} ^{gestellt} ^{werden},
 da sie ^{auch} ^{merkbar} ^{transitorische} ^{Kräfte} ^{haben}
^{inducirten} ^{temporären} ^{Magnetismus} ^{des} ^{Gehänges}
^{hauptsächlich} ^{den} ^{die} ^{Vertical} ^{Componente} ^{des} ^{erd} ^{magnetischen} ^{Krafts}
~~erzeugt~~ ^{erzeugt}. Bei so ^{weit} ^{gehenden} ^{der} ^{Kontinuität} ^{des} ^{Krafts},
 wie die ^{des} ^{magnetischen} ^{Krafts}, war es ein leichtes
 ihre Störungen zu vermeiden.

Darstellung können wir behaupten, nach ^{beziehung}
der elektrostatischen Wirkungen unserer Körper, ^{beziehung}
 deren Einfluss auf unsere Waage durch die ein-
 fache Metallhülle des Gehäuses als vollständig
 aufgehoben betrachtet werden darf.

In ^{beziehung} berücksichtigen haben wir ~~aber~~ ^{gegen} die
Elektrostatischen Kräfte zwischen dem Gehäuse,
und dem ihm unmittelbar anliegenden Gehäuse die je
 meist aus gleichem Material bestehen. Wenn die
 Oberfläche der ~~Gehäuse~~ einzelnen Theile des Gehäuses
 und die ^{umgebenden} Wände des Gehäuses verschiedene elektrische
 Ladungen besitzen, es entstehen ^{statische} elektrische Kräfte,
 die in ^{einer} symmetrischen Mittelstellung wohl gleich
 Null sein können, aber ~~bei~~ ⁱⁿ bei jeder Ab-
 weichung von ^{einer solchen} ~~dieser Stellung~~ fühlbar werden.
 Diese Kräfte müssen sich demnach besonders
 in der Weise ^{zu erkennen geben} ~~feststellen lassen~~, dass sie die
 Empfindlichkeit des Instrumentes ~~beeinflussen~~
~~als~~ ^{das} ~~bedingen~~ das gegen die Schwerkraft
 wirkende Drehungsmoment ~~stärken~~ ^{ein ~~was~~ anderes} ~~ist~~ ^{ist} wird.

Instrumente gewiss sehr klein, und ^{frühe T.} in den Zupf-
kisten verborgen, die als Fehler jeder Beobachtungs-
reihe anhaften.

Wirkungen die von dem Temperaturunter-
schiede verschiedener Teile des Gehirns und des
Schädeln hervorgehen. Die ^{äußere} Temperaturänderungen in dem Gefäß-
systeme dem Instrumente durch Strahlung und Leitung
Wärme zugeführt und ihr abgenommen wird
beeinflussen die ^{Empfindlichkeit des} Temperatur seiner Teile
und in der eingeschlossenen Luft. Die einfache
Metallhülle des Gehirns dient dazu diese
Empfindlichkeit möglichst klein zu machen, das gleiche
bewirkt auch der Ausstrahlung sämtlicher inneren
Teile von dem frühen Erwärmung geschah. Wenn
wir annehmen dann ^{Temperaturverteilung erreicht und verbleibt} ~~hierbei~~ ^{und um die nach hinten}
~~einige~~ ^{der Durchdringung} ~~der Mittellage des Nallens~~ ^{gibt}
Vertical Ebene symmetrisch ist, so ~~es~~ ^{an} wird sich
nur die Empfindlichkeit ^{des Instrumentes} ~~an Stelle~~ ^{an Stelle} der Torsions-
Constante zu selbende Größe t' verändern, ~~es~~ ^{ganz} ~~ganz~~ in

mehrere Stuktheile betragende Werthe. Im ~~Kurzen~~
Verlaufe ~~mehr~~ mehrjähriger Beobachtungen sind solchen
Instrumenten ^{auf diese Weise} sind wir ~~es~~ zur Kenntniss manches
Erdben gelangt ~~und~~ ^{deren Einkreffen später durch} die eingelegenen Li-
magraphischen Merkste ~~unser~~ ~~Resultat~~ bestätigte
~~Karten~~ wurde. Solche Ausnahmefälle, ~~wobei~~ die
leicht erkannt werden, sind ~~aber~~ für die Genauigkeit
der Beobachtungen von keinem Belang.

~~Als~~ In der Reihe der möglichen Störungen
müssen wir endlich auch jene Veränderungen
gedenken, welche durch Veränderungen ⁱⁿ der Massen-
vertheilung der Umgebung in den Werthen der
zweiten Differentialkoeffizienten der ^{Schwerfeld} Potentials auftreten ~~für~~
und besonders ~~in~~ ^{für} ~~den~~ ~~Fall~~ von $\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}$ und $\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}$ ~~wobei~~,
wenn auch nur kleine, doch merkbare Werthe erreichen
können. Verschiebungen von Gegenständen im Schilde ~~sich~~
sind dabei kaum in Betracht zu ziehen, wohl aber
das Ausweichen von Warzernen ausserhalb, wie
dies in ~~Folge~~ ^{Folge} ~~von~~ ^{Folge}
~~die~~ ~~von~~ ~~Regen~~ ~~güssen~~ ~~großen~~ ~~Reizen~~. Der Einfluss

56
eines im Längsschnitt sehen das Gehirn mag-
binden. Waperechtheit auf ~~die~~ die Gleichgewichts-
lage unseres Instrumentes beruht sich auf dem
ein hundertstel ~~der~~ ein Skalenteile. Beobachtungen
solche Veränderungen betreffend sollten systematisch
angeführt werden, wegen wir bisher keine Zeit
Zeit fanden. Ein Theil unserer Beobachtungen
resultate wurde aber auch nach diesem möglichen
Einfussse befreit.

Der ganze unsere Beobachtungen und ~~das~~
ihre Berechnung ~~das~~ ^{da auf alle diese Punkte} ~~das~~ ^{zu rechnen hatte}
entwickelte ~~sie~~ und vervollständigte sich während
des Ausführens unserer Arbeit. Die Kürze
der Zeit gestattete es uns nicht Alles nach
einem als besten erkannten, aber auch den größten
Zeitraum beanspruchenden Plan auszuführen.
Die hier mitgetheilten Resultate sind ^{so} nach
drei ~~verschiedenen~~ ^{verschiedenen} ~~Methoden~~ ^{Methoden}
~~gefunden~~ Verfahren gewonnen, die wir als I, II, III

wo n die der Gleichgewichtslage entsprechende Skaleneablesung n_0 eine Konstante und L die in Skalenteilen abgemessene Skalenerweiterung bedeutet.
~~So erhalten wir dann~~ So ist dann

$$n_0 - n = \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \sin \alpha + \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \cos \alpha - \frac{2L}{\tau} M_0 l_0 h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \sin \alpha + \frac{2L}{\tau} M_0 l_0 h \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \cos \alpha + \frac{2L}{\tau} M_0 l_0 g \sin \alpha (K_0 - K_a) \sin \alpha \quad \dots 13)$$

~~Unsere Beobachtung~~ ^{Alle} ~~unsere~~ Beobachtungen
 geschahen ~~alle~~ in vier Stellungen der Drehwaage
 die wir bezogen auf die Ende A des Balkens
 als ~~N, S, O, W~~, Nördliche, Östliche, Südliche und
 Westliche mit N, O, S und W, und auch die ihnen
 entsprechenden ~~Skalenerweiterungen~~ mit
 n_1, n_2, n_3 und n_4 bezeichnen wollen. ~~Bezeichnen~~
 das Einstellen auf N kann
~~die Einstellen auf O, S, W~~ ^{das}
~~Einstellen auf O, S, W~~
~~man je 90 Grade. Die Beobachtung der~~
~~Declination am besten mit Hilfe der~~
~~Boussole geschah, von dieser Stellung ausgehend~~

wenden dann die anderen erst nach Erreichen des
 Drehwinkels 90° erreicht ~~Die~~ Die
 Achse der Balken meist ^{aber} in diesen Stellungen
 nicht genau nach den vier Himmelsrichtungen hin.
~~Populäre sind aber bei der Stellung auf auf der~~
~~bezugnehmendes~~ Ist $\Delta\alpha$ die Azimut. der Balken Achse
 von Norden nach Osten gezählt in der ursprünglichen
 N-Stellung, ~~so sind die hier zu erhalten mit~~
 folgende Werte für die den vier Stellungen entpre-
 chenden Azimuthe:

Stellung N	...	$\alpha_h = \Delta\alpha$
" " Ö		$\alpha_o = \Delta\alpha + \frac{n_h - n_o}{2L} + \frac{\pi}{2}$
" " S		$\alpha_s = \Delta\alpha + \frac{n_h - n_s}{2L} + \pi$
" " W		$\alpha_w = \Delta\alpha + \frac{n_h - n_w}{2L} + \frac{3\pi}{2}$

~~In Betracht der kleinen~~
 Kleinheit der α sind die $\Delta\alpha$ und auch die
 Gränze $\frac{n_h - n_o}{2L}$ klein sind, so berechnen wir für
 diese vier Stellungen aus Gl. 13) die Amplitudenwerte:

Die Größen welche in diesen Gleichungen als
Constanten des Instrumentes auftreten sind ~~auf~~
~~nach~~ von uns durch das von Eötvös ange-
gebene Verfahren bestimmt worden. (Abhandlungen
des II. A. Conf. d. Erdmessung). I

Für das ^{gemittelte} einfache Schwerevariometer und für
die Schätze I und II des doppelten Schwere-
variometers, sind die so gefundenen Werte in
folgender Tabelle zusammengestellt, worin M_a^* und
 h^* Durchschnittswerte sind bezeichnet, die
bei den einzelnen Beobachtungen durch gemessene
ersetzt wurden.

	τ	$\frac{\kappa}{\tau}$	L	l_a	M_a^*	h^*	Einheit
Einfaches Schwerevariometer	0,5035	41896	1232	20	25,4	21,2	1,6858
Doppelter Schw.V. Schätze I	0,5073	43081	1258	20	25,4	21,2	"
Doppelter Schw.V. Schätze II	0,5116	43849	1258	20	25,8	21,2	"

4) Beobachtungen und deren Berechnung
nach dem Verfahren (I) ~~unter~~ ^{unter} der Voraussetzung
der Constanz der Schwerevariationen und der
Empfindlichkeit (T). ~~ausgehend von~~ ^{zu Grunde liegend}

Benützt wurde ein einfaches Drehwaagengehäuse,
 also das des einfachen ~~Schwerevariometers~~ oder nur
 eines des doppelten Schwerevariometers. Das
 Ende b ~~steht~~ ^{steht} blieb stets mit demselben in
 die Röhre hineingeschobenem Platinstück be-
 lastet.

Das Ende a wurde nun in der schon ange-
 gebenen Weise mit einem der ~~an~~ Unternehmung
 unterworfenen Körper ~~fest~~ (etwa mit Platin)
 belastet, und die ^{Nordstellung} ~~Meridianstellung~~ des Instrumentes (das Ende a nach Nord)
 am ~~selben~~ getheilten Kreise des ~~Instrumentes~~ mit Hilfe des Punkte-
 richtungsweises festzustellen. Die zulässige Abweichung,
 dass der Winkel von Ad auf nicht ^{die Größe von} weniger als 90°
 erreichen.

Nun wird das Instrument in regelmäßigen
 Zeitintervallen ^{wiederholt} zwischen ~~den~~ ~~zwei~~ ~~Positionen~~
~~zwei~~ ~~Stellungen~~ umgelagert die von
 der ~~ersten~~ der ~~ersten~~ ^{annähernd bestimmten} Nordstellung um 90 resp.
 270 grade abstecken und als ~~östliche~~ Oststellung,
 und Weststellung bezeichnet werden. Durch Able-
 sung der Gleichgewichtsstellungen erhalten wir dann

$$v = n_o - n_w$$

Derst, dass ^{der Abstand} ~~die Differenz~~ ~~zwischen~~ je einer dieser
 Stellungen bestimmt wird von dem Mittelwerthe
 der ^{unmittelbar} ~~vorangehenden~~ und ~~der~~ ~~darauf folgenden~~
 entgegengesetzten Stellung. Bei dem einfachen
 Schwerevariometer sind hierbei die mit dem
 Temperaturcoefficienten α, β reduzierten Werthe von
 n benutzt worden.

Ebenso wird dann ~~für~~ ^{für} denselben Körper
 (denn Platin) die Grösse m bestimmt, wozu aber
 auch wenige Beobachtungen ausreichen ~~können~~,
 da bei diesem Verfahren die Kenntniss eines ^{mit} ~~der~~ ~~Gravitations~~

6.
nächsten Wertes dieser Größe ^{erforderlich wird.} ~~ermittelt.~~

~~Der Versuch wird am Ende durchgeführt~~

Nachdem diese Beobachtungen mit einem Körper zu Ende geführt, wird an Stelle desselben am Ende a ein anderer (dieses Magnesium) von nahezu gleichem Gewicht gehängt, und für ^{entsprechende} ~~den~~ v' und m' bestimmt. Da dieses Vertauschen der Körper nur bei vorrätigen Instrumenten erfolgen kann ist eine kleine Verschiebung der ersten Nullstellung nicht zu vermeiden, so dass ~~man für $\Delta\alpha$ zu setzen ist $\Delta\alpha'$.~~ Die Größe ~~$\Delta\alpha'$~~ $\Delta\alpha' - \Delta\alpha$, ~~ausreicht aber, wie man sieht,~~ ~~zu wenig~~ welche ~~noch~~ als Skalenverschiebung betrachtet ist erreicht aber kaum die Größe von $\frac{1}{1000}$.

Nehmen wir nun an dass während dieser ganzen Zeit auf einige Wochen dauernden Beobachtungsreihe die Größe τ und auch die

zweiten Differentialquotienten der Schwerepotentiale
 constant geblieben sind, so erhalten wir zur
 Berechnung von $k_a - k_a'$ d. i. den Unterschiede
 des Attractionsefficienten der beiden Körper
 (Küppelschwere ~~von Platin~~ von Platin und Magnesium)
 die Gleichung 15 entsprechend:

$$v - v' = \frac{4\pi}{\tau} M_a a \frac{\partial u}{\partial r} (h - h') + \frac{4\pi}{\tau} M_a a \frac{\partial u}{\partial r} (h \Delta \alpha - h' \Delta \alpha') + \frac{4\pi}{\tau} M_a a \sin \varepsilon (k_a - k_a')$$

wobei wir ~~größen~~ die mit Größen

wie $\left\{ \left(\frac{h - h'}{\tau} \right) - \left(\frac{h' - h'}{\tau} \right) \right\}$ multiplizierten Glieder als

verschwindend kleine vernachlässigten.

Nach weiter lässt sich dieses Ausdruck ^{Parabel} vereinfachen
~~in die wir uns~~ ^{den kleineren} ~~größeren~~ ^{zweiten Ordnung} ~~absehen~~ ^{abschauen}, ~~wobei es wird~~

Dann:

$$v - v' = v \frac{h - h'}{h} = m(\Delta \alpha - \Delta \alpha') + \frac{4\pi}{\tau} M_a a \sin \varepsilon (k_a - k_a') \dots 16)$$

also:

$$k_a - k_a' = \frac{\tau}{4\pi M_a a \sin \varepsilon} (v - v') + \frac{m(\Delta \alpha - \Delta \alpha') - v \frac{h - h'}{h}}{4\pi M_a a \sin \varepsilon} \dots 17)$$

~~Das zweite Glied~~ ^{nach (16) ist} ~~als~~ ^{h' - h' = 0} ~~...~~
~~ist~~ ^{nach Vernachlässigung} ~~...~~
~~und auch das zweite Glied~~ ^{nach Vernachlässigung} ~~...~~
~~ist~~ ^{nach Vernachlässigung} ~~...~~
~~...~~ ^{nach Vernachlässigung} ~~...~~

5) Beobachtungen und deren Berechnung
^{einzelnen} nach ~~dem~~ Verfahren (II), ~~in~~ welches bei
Constanten Werten der Schwerevariationen
~~langsam~~ eine langsame und stetige Verän-
derung der Empfindlichkeit ~~ist~~ ^{entsteht}.

Benutzt wird wie beim ersten Verfahren
nur ein Gehäuse. Der ^(eine Vergleichs) ~~ein~~ Körper wird
an das Ende a gehängt. Das Instrument
wird in gleichen Zeitintervallen immer um
~~ein~~ ^{den} einen rechten Winkel gedreht und es der
Reihe nach in die Stellungen N, O, S, W ^{gedreht}
~~und~~ ~~es~~ ~~wird~~ ~~folgt~~ ~~dieses~~ ~~Verfahren~~ ~~bis~~ ^{Wird}
zur Größe wiederholt.

Wir nehmen nun an, dass sich T und
damit auch m und v wohl mit der Zeit
verändern, dass aber diese Veränderung während
dem ~~ersten~~ ^{zu wenigsten} sechs ~~einzelnen~~ ^{je eine} ~~Stellung~~
~~Intervallen~~ ^{mindestens} Einstellungen erforderlich sind.

Zeitraume als proportional der Zeit t in Rechnung
gezogen werden darf. Dann erhalten wir für
~~Einzel~~ ~~Ablesungen~~ ~~Stellungen~~ im Meridian die
den Momente ihrer Ablesung entsprechenden
Werthe von m ; ^{also} die Differenz dieser Ablesung
von Mittelwerthe ^{der Ablesungen in} der vorangehenden t und
der folgenden entgegen gesetzten Meridianstellungen.
In gleicher Weise ~~erhalten~~ ergeben sich die Momenten-
werthe ~~von~~ ~~in der ersten Vertikalen~~ in
den Stellungen der ersten Vertikalen. Die Momenten-
werthe ~~von~~ v zur Zeit ^{in einer} der Meridianablen-
kungen wir ~~aber~~ ^{aber} als mittel der vorange-
henden und folgenden Werthe dieser Grösse. So auch
umgekehrt.

~~Das Resultat~~ Wir berechnen nun ~~das~~ ^{das}
das Verhältniss $\frac{v}{m}$, wofür wir aus (14) und (15)
mit Vernachlässigung kleiner Grössen zweiter Ordnung
erhalten:

$$\frac{v}{m} = - \frac{\frac{\partial U}{\partial x \partial t}}{\frac{\partial U}{\partial x \partial t}} \cancel{\frac{\partial U}{\partial x \partial t}} - \left(1 - \frac{v^2}{m^2}\right) \Delta t + \frac{v^2 m}{m^2 \gamma L} - \frac{2 \eta_0 - \eta_0 - h_0}{4 L} + \frac{4 L M_0 \lambda_0 \sin \varepsilon (K_0 - K_0)}{m \tau} \quad \dots (18)$$

Darauf hin wird der Körper bei a durch einen
~~ein~~ anderen vertauscht, und eine neue Reihe
 von Beobachtungen ~~gibt uns~~ gibt uns den Wert
 $\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} = \dots$

~~Nach genügender Zeit~~ ~~Vermählung~~

Zur Berechnung ~~der gemessenen~~ der Werte $k_a - k_a'$
 dient dann die Annäherungsformel:

$$\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} = + \frac{4\pi M_a k_a \sin \epsilon}{mT} (k_a - k_a') - \left(1 - \frac{v'}{m'}\right) (\Delta\alpha - \Delta\alpha') \quad (19)$$

Woraus

$$k_a - k_a' = \frac{mT}{4\pi M_a k_a \sin \epsilon} \left(\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} \right) + \frac{mT}{4\pi M_a k_a \sin \epsilon} \left(1 - \frac{v'}{m'}\right) (\Delta\alpha - \Delta\alpha') \dots (20)$$

In dieser Formel sind alle Größen ~~Vermählung~~
 welche zu dem ~~als~~ obengenannten Werte von $\frac{v}{m}$ ~~mit~~
 weniger als $\frac{1}{1000}$ beitragen. Man kann sich hierin
 aus ~~den~~ ~~beobachteten~~ ~~vermuteten~~ ~~Werte~~ ~~für~~ ~~bestimmen~~
 wenn ~~nach~~ ~~bestimmen~~ dass $\left(\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'}\right)$ ~~den~~
~~Beobachtungswert~~ ~~kleiner~~ als 10^{-7} ~~Werte~~.

6) Beobachtungen sind deren Berechnung nach dem dritten Verfahren (III), ~~hieraus~~ welches nicht nur von ^{den} ~~langsam~~ ^{stetigen} Veränderungen des Empfindlichkeits sondern auch von den Veränderungen ~~der~~ in der Lage der Schwerkraft räumlichen Schwerevariationen unabhängige Werthe liefert.

Gebraucht wird hierzu ein doppeltes Schwere-
variometer, dessen Balken ^{mit} nahezu parallel
sein müssen. Das Prinzip des einen Balkens
in der Nivellage sei Δ_{II} , das des anderen Δ_{II} , ^{bei einem ~~ersten~~ Vorversuche} ~~bei einem ~~ersten~~ Vorversuche~~ ^{bei einem ~~ersten~~ Vorversuche} Δ_{II} , ~~hierbei~~ ^{hierbei} sollen
die Differenzen $(\Delta_{II} - \Delta_{II})$ ~~so dass diese Differenz~~ ^{so dass diese Differenz}
nicht den Werth von etwa zwei Graden nicht
übersteigen, was leicht zu erreichen ist.
Indem die 6 Enden dieser Balken mit
den hineingeschobenen Platinstücken belastet
sind wird eines der Vergleichskörper ^(K₁) am a
Ende des Gehänges I, das andere ^(K₂) am a Ende

Balkens
I bei der Iten
Vorversuche
 Δ_{II} und
bei der IIten Vorversuche
 Δ_{II}

jener mit dem Coefficienten K_a aber an den Balken 2.

Da hängen kommt, so ergibt eine zweite Beobachtungsreihe

$$\frac{v_L}{m_L} - \frac{v_L'}{m_L'} = \frac{4 \ell M_a l_a \sin \xi}{m \tau} (K_a - K_a') + (1 - \frac{v^2}{m^2}) (\Delta \alpha_{1E}' - \Delta \alpha_{2E}')$$

und wir erhalten durch Addition:

$$\left(\frac{v_L}{m_L} - \frac{v_L'}{m_L'} \right) + \left(\frac{v_L}{m_L} - \frac{v_L'}{m_L'} \right) = \frac{8 \ell M_a l_a \sin \xi}{m \tau} (K_a - K_a') + (1 - \frac{v^2}{m^2}) (\Delta \alpha_{1E}' - \Delta \alpha_{2E}') - (\Delta \alpha_{1E}' - \Delta \alpha_{2E}') \quad \dots 22)$$

und:

$$K_a - K_a' = \frac{m \tau}{8 \ell M_a l_a \sin \xi} \left\{ \left(\frac{v_L}{m_L} - \frac{v_L'}{m_L'} \right) + \left(\frac{v_L}{m_L} - \frac{v_L'}{m_L'} \right) \right\} + \frac{m \tau}{8 \ell M_a l_a \sin \xi} (1 - \frac{v^2}{m^2}) (\Delta \alpha_{1E}' - \Delta \alpha_{2E}') - (\Delta \alpha_{1E}' - \Delta \alpha_{2E}') \quad \dots 23)$$

$$\Delta \alpha_{1E}'$$

8. über Beobachtungen zur Entscheidung der Frage ob die Absorption durch Dapiriden gegen die Kette ab der Aufspaltung unverändert bleibt.

~~an den inwendigen ^{un} Japwischen liegenden Körpern~~

~~abhängig von~~

Die Frage ob ~~hier~~ ~~man~~ die ~~lang~~ von innen

Die Frage ob ~~ein~~ die ~~Weg~~ von einem Körper A auf einen anderen B ausgeübte Anziehung von einem Dritten dazwischen liegenden Körper C abhängig sei, ob ~~das~~ ^{das} ~~das~~ ^{das} ~~den~~ ^{den} Körpern ~~abhängig~~

Ich such' eines mehrfachen Anschaffungsbeispiels
sind auch minder genau eine Abgrenzung
verschiedener Persönlichkeiten Abgrenzungsmethoden
wären gegen Anweisung zu schreiben in. Anweisung

Von wäre dieser letztere der Fall, es müsste
Körper verschiedene Form und Grösse ^{einem anderen} ~~verschieden~~
~~haben~~ ^{von demselben} ~~Körper~~ angezogen werden,
je es müsste diese Anziehung sogar ~~von~~ ^{von}
abwenden, wie ~~die~~ ^{die} verschiedenen Theile
des angezogenen Körpers gegen den anziehenden gerichtet sind.

Abneytown.

2.

65

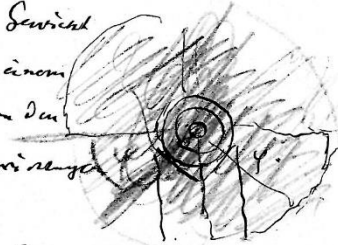
165

Das & Ein solches Resultat ergibt sich viel
einfacher durch die Betrachtung, dass ja die der
mit viel größerer Ausdehnung der Erde unterworfenen
Wägel keine ^{merkliche} ~~kleine~~ ^{kleine} Gleichgewichtslage ~~ist~~ ^{haben} erki-
det, wenn unter die eine ihrer
belasteten Wagenkasten Schichten der oben erwähnten
Art geschoben werden. Bei gehöriger Schutz-
kante ~~die~~ ~~in~~ ^{besten} mit diesem Instrumente

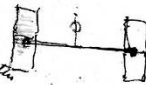
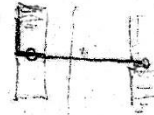
die erreichbare Genauigkeit ^{Ergebnis} bis zu einem
Schmittionstet der Gewichte gesteigert werden.
Es noch um vieles genaueren Resultaten
können wir mit der Drehwaage gelangen.
Schon im Jahre 1902 haben wir bereits
Versuche angestellt ~~mit dem~~ und zwar mit
dem Instrument, des Eötürs der Gravitations-
kompensator benutzte¹⁾. Die Versuche haben wohl
mit dem Charakter von Vorversuchen, ~~da wir~~
die hier ^{dennoch} mitteilen, ~~würden wir~~ ^{würden wir} ~~das~~ ^{das}
so sollte betrachtet und beurteilt werden.
In Ausführung ~~vollkommen~~ ^{vollkommen} uns selbst
ganz befriedigender Versuche, namentlich ~~mit voll-~~
zur Herstellung von vollkommenen Instru-
menten mangelte es uns an Zeit.

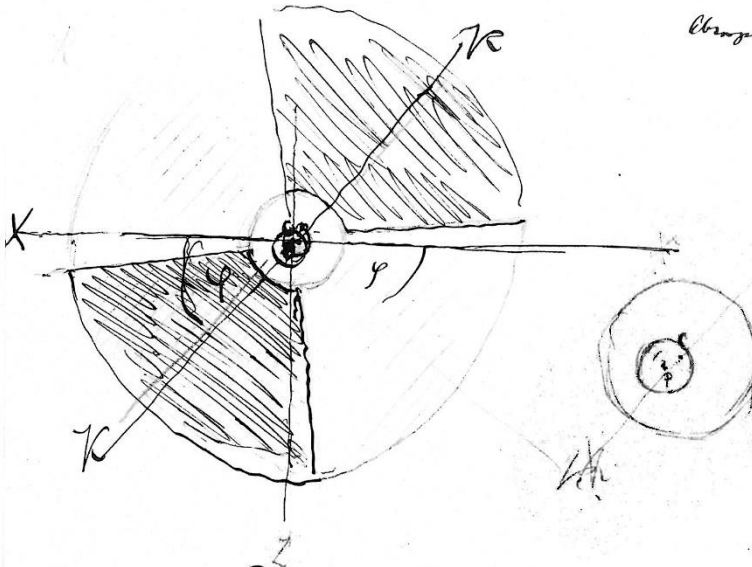
Das ~~von uns~~ benutzte Instrument war ganz ähnlich
dem von Eötür ^{angegeben} ~~benutzten~~ ^{so dass} ~~das~~ ^{hier nicht einsehbar mit}
und ~~mit~~ ^{seiner Einzelheiten} ~~Verstand~~ ^{zu beschaffigen brauchen.}
~~seiner eingehenden Beschreibung~~ ^{benutzen.}
*) Untersuchungen über Größe u. Erdmagn. Wiedemanns Annalen
120. 59

Die an beiden ^{Enden} eines 50 cm langen
Drehwagen halbkreis befestigten Messingkugeln
~~sind~~ von je 30 Gramm Gewicht
sind ~~da~~ ^{da} ~~an einem~~ ^{ausser einem}
metallenen Schutzrohr noch von dem
zur Compensation dienenden Vorrichtungen
umgeben (siehe Figur).



Die diesen an den beiden Enden angebrachten
Vorrichtungen besteht aus einer ^{das Schutzrohr} ~~die Schutzrinne~~
umgebenden cylindrischen Metallhülse von 5 cm
Diese Metallhülse tragen je zwei
Drehwagen, ~~die~~ ^{die} ~~sich~~ ^{gegenüber}
^(Compensationsmassen)
liegende Cylinderquadranten aus Blei gegossen und
sind ~~so~~ ^{so} ~~an~~ ^{an} ~~horizontalen~~ ^{horizontalen} ~~Axsen~~
^{so Neigungswinkel} ~~so~~ ^{so} ~~an~~ ^{an} ~~horizontalen~~ ^{horizontalen} ~~Axsen~~
gelegt, so dass ~~die~~ ^{so} ~~Neigung~~ ^{Neigung} ~~der~~ ^{der} ~~Mittellinie~~
KK zur horizontalen durch Drehung veränderbar
werden kann. Die Dimensionen dieser Quadranten
sind: innerer Radius 4,5 cm, äusserer Radius 12 cm,
Dicke d. h. Abstand der beiden Ebenen Begrenzungs-
flächen 9,5 cm. Die Enden der Halbkreis, nämlich die
daran haftenden Messing Kugeln ^{sich} ~~haben~~ ^{haben} in der Mitte je
einer ~~Compensations~~ ^{Compensations} ~~Quadranten~~ ^{Quadranten} ~~massen~~ ^{massen}.





Der Mittelpunkt P der Kugel K am Balkenende
 sollte bei vollkommener Einstellung des Instruments
 in die Drehungsaxe C des Compensators zu liegen
 kommen. Da ^{aber} diese Vollkommenheit nicht erreicht
 werden kann, haben wir in unserer Figur P und C
 als von einander abweichend ^{angegeben} dargestellt, und ^{so werden wir auch} ~~angegeben~~
 die Coordinaten von P bezogen auf ein durch C gelegtes
~~Cartesisches~~ System X, Z durch ξ und ζ bezeichnen.

In dem gegenwärtigen Falle wurde dieses
Instrument stets so benutzt, dass die beiden
Compensatoren ^{zu dem von ihnen umschlossenen} ~~gegenüber dem entgegengesetzten~~
Balkenende ~~gegenüber~~ die gleiche Lage hatten.
~~Was ist die Compensatorlage für das eine Ende~~
Steht die Figur den Querschnitt des Compensators ~~da~~
und der darin schwappenden Kugel ^{so wie er} ~~für einen~~
Beschafter erscheint, der vor dem einen Ende
stehend nach der Drehungsachse schaut, so
stellt er auch das Gleiche der ~~anderen~~ ^{entgegengesetzten} ~~anderen~~
Ende des Balkens und den anderen Theil des
Compensators für ~~den~~ einen Beschafter der ~~anderen~~
andere Ende ^{besteht} der Drehungsachse in gekehrter Betrachtung.
Die Drehungen der beiden Compensatortheile
gemäßen dementsprechend auch immer um
gleiche Winkel.

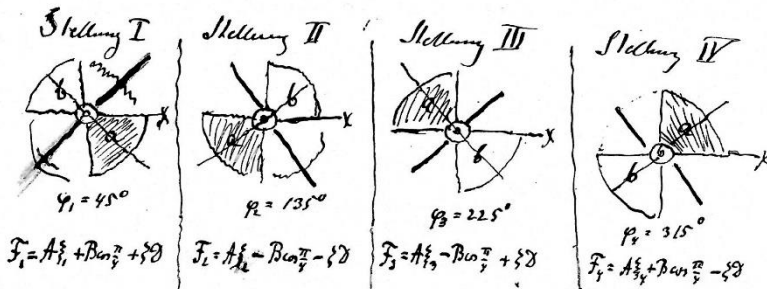
~~In~~ ^{In} diesem Falle ~~besteht~~ ~~es~~ ~~da~~ kann das
von dem ⁷ durch die Anspickung der Compensa-
toren auf den ~~besten~~ ~~Balken~~ mit dem Kugeln

Belasteten Balken in folgender Form ausgedrückt

werden:

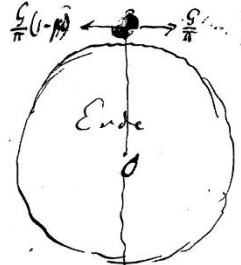
$$F = A\xi + B\cos\varphi + \frac{1}{2}C\cos 2\varphi + \xi D\sin 2\varphi$$

Bei der Betrachtung der vier in Frage stehenden Untersuchungen werden nun die Congress-
Loren in vier um je einen rechten Winkel ab-
stehenden Stellungen gebracht. Diese vier Stellungen
sind in der unten folgenden Zeichnung schematisch
dargestellt und die entsprechenden Werte von φ und
 F darunter geschrieben.



Nehmen wir an, dass die Aufzeichnungen der Erdmagneten
auf die Erdkugeln aufgetragen werden
durch die Äquidistanten durch den Kreis der Äquidistanten
und die angegebenen Kräfte am besten

Die ~~Fläche der Bleiwand~~ eine
beeinflussung ~~ähnlich der Abtrag~~ erhöht
~~werden~~ auf die Massen unserer Drehwaage
durch die dazwischen liegenden Compensationsmassen
von einer Abtragung ähnliche beeinflusst werden,
so addierte sich ~~dem Trägheitsmoment~~
zu diesem Drehungsmoment F noch ein anderer
II welcher je nach der Stellung eingenommenen Stellung
der Compensations ~~der Richtung~~ ~~nach~~ ~~vorwärts~~
oder ~~zurückwärts~~ (gerichtet) ist.



Denken wir uns nämlich die Erde
nach einer die Balkenachse enthaltenden
Verticalebene in zwei Hälften getheilt
so wirkt die Anziehung der einen
(in der Stellung I, linksseitigen Hälfte)
(siehe Figur) durch die Compensationsmassen, die ~~andere~~
(rechtsseitige) aber ohne ~~diese~~ ~~durch~~
dringen. Jede dieser Hälften erzeugt eine
horizontale Anziehungscomponente, deren Größe

ohne Berücksichtigung einer möglichen Absorption 10

auf die Messen ein Körz bezogen $\frac{1}{\pi}$ und nach
~~ihm~~ ^{der} Seite gerichtet ist, wo die aufsteigende Halbwelle
 liegt. Findet aber Absorption statt, ^{ist} es die
 von ihr beeinflusste Ausbreitung ^{inner} der Erdhälfte
~~Ausbreitung der elektromagnetischen Strahlung~~ Halbwelle

$$= \frac{E}{\pi}(1-\mu)$$

zu setzen, ~~was~~ ^{von} dem Absorptionsvermögen
 des ~~Mediums~~ ^{Mediums} dazwischen liegenden
 Körpers, ferner von ~~der~~ ^{der} seiner Form, ~~seiner~~
 Größe und Lage abhängig ~~ist~~ ^{ist}.

Die Wirkung beider Erdhälften zusammen
 ergibt so eine horizontale Kraftkompo-
 nente die nach jener Seite gerichtet
 ist wo die Absorption ~~kleiner~~ ^{geringer} ist.

~~Wenn~~ Wenn wir mit m die Masse
 je eines Kugels am Drehwagebalken mit
 mit l ihren Drehungshalbmessers bezeichnen
 so sind die aus der einseitigen Absorption
 resultierenden Drehmomente in den mit
 I, II, III und IV bezeichneten Compensationsstellungen:

Stellung I Stellung II Stellung III Stellung IV *Abgesehen II*

$$\Phi_1 = -2ml \frac{g}{\pi} \mu \quad \left| \quad \Phi_2 = +2ml \frac{g}{\pi} \mu \quad \left| \quad \Phi_3 = -2ml \frac{g}{\pi} \mu \quad \left| \quad \Phi_4 = +2ml \frac{g}{\pi} \mu \right. \right.$$

~~Das Summenmoment~~ ~~Das~~ ~~Summen~~ Das Gleichgewicht
des Drehwaagebalkens denken wir ~~uns~~ ^{uns} ~~nun~~
hergebracht von der Summe der Drehmomente F und Φ einerseits, von dem gegen die
Torsion wirkenden Drehmoment ~~an~~ ^{ander}
erseits. ~~Dieses~~ ^{Drehen} ~~Weges~~ ^{sehen} wir ~~hier~~ ~~ab~~ ~~zu~~
in der Form:

$$\tau \delta_0 + \tau \delta$$

wo, wo δ_0 den Torsionswinkel bei einer Lage
des ~~Kingel~~ ~~mit~~ ~~bezug~~ ~~punkt~~ ~~es~~ bei einer Lage des Balkens
bedeutet, bei welcher $\delta = 0$ ist und $\delta_0 + \delta$ den
gesamten Torsionswinkel ~~es~~ darstellt. Setzen wir
noch

$$\delta = L \theta$$

~~so~~ ~~erhalten~~ ~~wir~~ ~~als~~ Bedingungen des Gleichgewichts in den vier Stellungen I-IV:

$$\tau d_1 + \tau d_2 = A L d_1 + B \cos \frac{\pi}{4} + \xi D - 2 m l \frac{g}{\pi} \mu$$

$$\tau d_0 + \tau d_2 = A L d_2 - B \cos \frac{\pi}{4} - \xi D + 2 m l \frac{g}{\pi} \mu$$

$$\tau d_0 + \tau d_3 = A L d_3 - B \cos \frac{\pi}{4} + \xi D - 2 m l \frac{g}{\pi} \mu$$

$$\tau d_0 + \tau d_4 = A L d_4 + B \cos \frac{\pi}{4} - \xi D + 2 m l \frac{g}{\pi} \mu$$

~~Abgelesen~~ ^{von der Summe} werden (dies ersten und dritten) dieselben Gleichungen ~~mit~~ die Summe der zweiten und vierten abgezogen, so erhält man:

$$(T - AL)(d_1 + d_3 - d_2 - d_4) = 4 \xi D - 8 m l \frac{g}{\pi} \mu$$

Bei der Beobachtung mit Spiegel und Skala bezeichnen wir mit n die Skalenablesung und mit L die in Skaleneinheiten abgemessene Entfernung der Skala vom Spiegel, dann ist also:

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = \frac{8 L D \xi}{T - AL} - \frac{16 L m l g}{T - AL} \frac{g}{\pi} \mu$$

Zur Berechnung unserer nachfolgenden Beobachtungen, wurde nun dem benutzten Apparate entsprechend, als Randwert hier genügenden ^{angenähereten} ~~angenähereten~~ ^{angenähereten} Abmessungen gesetzt:

$$L = 1315 \text{ Skalenteile}$$

$$n_1 = 3.0 \text{ gr.}$$

$$l = 25 \text{ C.}$$

$$G = 982 \text{ C.S.}$$

$$T - Al = 0,103 \text{ C.S.S.}$$

Leitene Größe wurde durch Abkennungsversuche am Compensatorbalken bestimmt.

Mit diesen Werten wird:

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = \frac{8LD}{T - Al} \xi = 47890 \cdot 10^6 \mu$$

~~Die Größe~~ Der Factor von ξ lässt sich aus den Dimensionen des Apparates umschwer berechnen, wir haben aber deren Größe auch ^{des Werts} in ~~der~~ durch die Beobachtungen bestimmt, ~~was wir zuerst die den vier Stellen die die Gleichgewichtsbedingung~~ dass wir zwei Werte der Größe $(n_1 + n_3 - n_2 - n_4)$ feststellten, die verschiedenen Werten von ξ entsprechen. Es ist ja dann:

$$(n_1' + n_3' - n_2' - n_4') - (n_1 + n_3 - n_2 - n_4) = \frac{8LD}{T - Al} (\xi' - \xi)$$

Eine solche Veränderung des Wertes von ξ ~~lässt~~ ^{kann}

Durch ein Senken oder Heben der auf Festschrauben
stehenden Compensatoren Licht bewerkstelligt ~~und~~
und gemessen werden. ~~Nunmehr wird ξ in Centimetern~~
~~ist~~ Aus solchen Vermessen erhalten wir,
wenn ξ in Centimetern abgemessen wird:

$$\frac{8LD}{L-A1} = 608$$

es dann

$$n_1 + n_2 - n_3 - n_4 = 608 \xi - 47890 \cdot 10^6 \mu$$

und

$$\mu = \frac{n_1 + n_2 - n_3 - n_4}{47890 \cdot 10^6} + \frac{608 \xi}{47890 \cdot 10^6}$$

Die Zahlenwerte dieser Formel liegen wohl ein
wenig davon ab, wie groß die bei der
Bestimmung von μ erreichbare Genauigkeit sei,
weisen ~~aber~~ aber auch auf die Schwierigkeiten hin,
die dabei überwunden werden müssen. Diese
~~Probleme~~ bestehen nicht nur bezüglich des Schutzes
von störenden Einflüssen, welche bei so großer
Genauigkeit doppelt in die Waagschale fallen, sondern

besonders auch darin, dass der Einfluss des mit § multiplizierten Gliedes möglichst vermieden, oder sicher festgestellt werden muss.

Bei unseren Versuchen ^{bei} die feste Aufstellung des Apparates in einem gleichmäßig temperierten Kammersaum und ~~der Umgebungen desselben in~~ ~~wechselnde~~ gehörigen Schutz, und ~~durch~~ mit Hilfe von Kalometern gelang es uns auch die Temperaturschwankungen so zu stellen, dass § nicht mehr als ^{etwa} $\frac{1}{500}$ C. von null verschieden war. Unter solchen Umständen haben wir ~~von~~ ^{schon} vor mehreren Jahren drei Versuchsreihen ausgeführt, deren Ablesungen in folgender kleinen Tabelle zusammengefasst sind:

		Ablesungen		
		17 April	20 April	23 April
Stellung I	n_1	246,2	264,0	266,2
Stellung II	n_2	247,4	264,6	268,0
Stellung III	n_3	246,3	263,8	267,1
Stellung IV	n_4	246,0	262,5	266,6
Stellung I	n_1	246,0	263,9	265,9

Durchschnittliche Länge jener ^{Teile} ~~Strecke~~ des
 von dem Punkte des einen Erdhüfte zur angere-
 genen Kugel führenden ^{Geraden} ~~in die~~ welche in die
 der Compensation fallen nicht unter 5 Centesimalen ist.
 Wir können also ~~es~~ behaupten, dass die
 Ausdehnung der Erde beim Durchgang durch eine
 Plattenstärke von 5 L. Dicke keine Absorption
 erleidet welche ein Fünfzigtausendstel
 desselben erreicht. Für eine ~~kleine~~ ^{kleine} Plattenstärke
 von 1 Meter Dicke würde diese untere Grenze
 ein ^{Fünf} ~~Zwanzig~~tausendstel betragen, und
 für die Absorption längs eines ^{ganzen} Erddurchmessers
~~ein~~ ^{etwa} vierhundertstel. Nehmen wir ^{an} dass die
 Absorption ~~in~~ ^{nach} der Durchlaufenden Masse
 proportional wäre, so müsste unser Vorhaben
 entsprechend die Absorption ~~des~~ ^{des} ganzen
 Erde längs eines Durchmessers desselben weniger
 als etwa ein Achttausendstel betragen.
 Beobachtungen der Ebbe und Flut, und der

die erzeugenden Kräfte lassen aber diesen
minimalen Grenzwerth einer eventuellen Absorption
der Ausbreitung durch den Erdkörper nach unten
vielleicht kleiner erscheinen.

In einfacherer Weise können wir uns hiervon
überzeugen, wenn wir ~~Punkte der Erde betrachten~~
~~oder Kräfte betrachten~~ ^{von der} Ausbreitung von
Licht ~~aus dem Mond~~ ^{aus dem} ~~in den Punkten der~~
~~Erdoberfläche in der Betrachtung~~ entsprechenden
vertikalen Kräfte in zwei Punkten der Erde
~~für~~ auf der Erde betrachten für welche die Entfer-
nung jenes Himmelskörpers $\{\varphi=0 \text{ und } \varphi=\pi \text{ ist.}$

Setzt

$$-Z = 2f \frac{M}{g^2} \cdot \frac{a}{g}$$

wie im Falle der Rückstrahlung keine Absorption
stattfindet, ~~was~~ ist wenn eine solche vorhanden
ist, zu setzen:

$$-Z = 2f \frac{M}{g^2} \frac{a}{g} + \mu f \frac{M}{g^2}$$

oder:

$$-Z = 2f \frac{M}{g^2} \frac{a}{g} \left(1 + \mu \frac{g}{2a}\right)$$

wo μ die Größe jenes Phänomen der Läng-
kung bedeutet der von der Erdmassen längs
der Strecke eines Erdkalenders absorbiert
wird.

Für die durch die Sonne erzeugte Flut haben wir
also zu setzen:

$$-Z = 2 \sqrt{\frac{M}{g}} \frac{a}{g} \left(1 + \frac{11800 \mu}{g} \right)$$

für die Mondflut aber:

$$-Z' = 2 \sqrt{\frac{M'}{g'}} \frac{a'}{g'} (1 + 80,14 \mu)$$

Wird μ den durch unsere Drehschrauben bestim-
ten. Istbestimmten Grenzwert von $\frac{1}{1000}$ erreichen, dann
für die Sonne:

$$-Z = 2 \sqrt{\frac{M}{g}} \frac{a}{g} (1 + 7,4)$$

für den Mond aber

$$-Z' = 2 \sqrt{\frac{M'}{g'}} \frac{a'}{g'} (1 + 0,02)$$

Die Sonnenflut müsste in diesem Falle auf diese Höhe
hochfliegen, während die Mond-
flut kaum merklich verändert würde.

9. Einige Versuche mit radioactiven Substanzen.

Die Untersuchung ^{von} Radioactiven Substanzen haben wir nach zwei Richtungen ausgeführt, erstens bezüglich des Verhältnisses ihrer Masse zu der auf sie ausgeübten Erdausziehung, zweitens die Frage betreffend ob sie auf diese Ausziehung abströmend wirken oder selbst eine ^{spezifische} Anziehung oder Abströmung bewirken.

a) ~~Die~~ Beobachtungen des Verhältnisses von Masse und Ausziehung betreffend.

Die Versuche ~~führten wir~~ ^{führten wir} mit einem Radiumpräparate ausgeführt, welches ~~wie~~ ^{das} ~~bei~~ ^{an} ~~uns~~ ^{aus dem Curie'schen} ~~auf~~ ^{uns vom Herrn Dr. L. ~~an~~ zur Verfügung} ~~gestellt wurde.~~ ^{stammte.} Das Gesamtgewicht des ^{gestellten} wurde.

~~Präparat~~ in einem Glasröhrchen eingeschlossen. Präparat war 0,200 Gramm, nach Angabe ^{Herrn} Dr. L. 0,100 gr. reines $RaBr_2$ enthaltend mit einer Aktivität

gleich dem 15000fachen des Metallischen Uraniums.
 Leider stand uns dieses Präparat nur auf kurze
 Zeit zur Verfügung und zwar am Beginn ~~dieser~~
 Arbeit; ~~sondern~~ wir ^{noch} unsere Beobachtungen nur
 nach dem I. Verfahren ausführen konnten.

Das Radium enthaltende Glasröhrchen wurde in
 der Mitte ^{verbohrt} einer Messingröhre sorgfältig befestigt
 und ~~an~~ ^{mit} auf das Balkenende gehängt, und dann wurden
 die Beobachtungen in derselben Weise ausgeführt
 wie ^{die} mit dem Magnesium ~~und~~ dem Holze geschah.
 Dabei hatten wir aber zu berücksichtigen, dass
 die hängende Masse M_a ~~keine~~ nicht homogen war,
 und nur etwa ihr $\frac{1}{150}$ Teil aus $RaBr_2$ bestand.

~~Die direkte Bestimmung geschah daher nicht~~
~~bezüglich K_a , sondern für bestimmten als~~
~~Beziehung von dem mittleren Attractivkoeffizienten~~
~~der ganzen Masse M_a zu K_a . Die direkte Bestimmung~~
 bezog sich so auf einen mittleren Attractivkoeffi-
 zienten K_a der ganzen Masse M_a , ~~und~~ ^{des Attractivkoeffizienten K_a} ~~von dem~~
 Teil $\frac{1}{150}$ und zu dem (des Radium bromids) nur mit
 dem einen der Masse von $\frac{1}{150} M_a$ bei einem Beitrag
 leistet.

b) 1

b) ^{eine spiritische mechanische Wirkung} ~~Beobachtungen~~ die eine wesentliche Absorption
^{von Radiumpräparaten betreffen.}
der Ausstrahlung betreffen.

~~Es soll hier~~ Wir wollen hier noch über einige
 Versuche ~~zu~~ ^{Barium} ~~erwarten~~, die wir vor einigen
 Jahren ⁽¹⁹⁰⁸⁾ ~~bezüglich einer Absorption~~ mit der Absicht
 anstellen ~~zweckten~~ ^{eventuelle} ~~die mögliche~~ mechanische Wirkungen
 der Radiumpräparate auf den Drehzweig halten
 zu entdecken. Die Untersuchungen führten
 uns ~~zu~~ in das von Herrn Robert Geigel ~~betonte~~
~~in~~ in seiner Abhandlung: "Über Absorption von
 Gravitationsenergie durch radioaktive Substanz" *)
 betonte Gebiet. Nach den ^{bisherigen} ~~erfolgten~~ Bemerkungen des Herrn
 W. Kaufmann zu der Arbeit des Herrn R. Geigel **) ^{demnach}
 schien uns die Veröffentlichung noch weiterer Be-
 merkungen ^{überflüssig}, zu sein, doch glauben wir
 dass unsere Versuche im Rahmen dieser Abhandlung
 der Ausprägung wert sind.

*) Annalen der Physik IV Folge Bd. 10 Seite 629. 1903

**) Ebendasselbe Seite 894

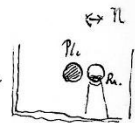
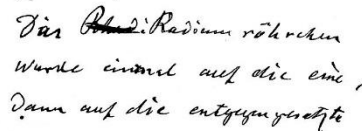
b.2

Versuch. Nr. 1

Chiriquier am Panamakanal, und die Lebewelt dieses Pro-
vinzen war circa die 1870er Jahre zu deutlich abgesunken.

Chiriquier am Panamakanal, und die Lebewelt dieses Pro-
vinzen war circa die 1870er Jahre zu deutlich abgesunken.

Chiriquier am Panamakanal, und die Lebewelt dieses Pro-
vinzen war circa die 1870er Jahre zu deutlich abgesunken.



Seite des ^{schwebenden} Platingylinders gestrichelt und jedesmal ^{im} (n_1) Gleichgewichtslage bestimmt. Die Entfernung H zwischen Platingylinder und Röhrenkante konnte ~~mit Hilfe~~ ^{mit Hilfe} der Ableseung eines Skalenkreises ^{n_2} beobachtet werden bei welcher ~~der~~ nach schwingende ^{Ballkugel} vom dem Röhren zurückgeschlagen wurde. ~~Zeit n_2 betrug~~ Entsprechend dem ~~schon gebrauchten~~ ^{schon gebrauchten} Negerkennzeichen ist l dann:

$$H = \frac{n_2 - n_1}{2L} l$$

das für $l = 20$ $L = 1232$

$$H = 0,0081 (n_2 - n_1) \text{ cm} = 0,081 (n_2 - n_1) \text{ mm}$$

Die folgende Schema zeigt den Gang einer ~~einzelnen~~ des Versuches vom 3^{ten} Februar 1904

$n_2 = 257,0$	$n_2 = 156,0$		
14 1140 m ... $n = 206,3$	14 26 m ... $n = 204,8$	34 55 m ... 208,5	64 14 ... 206,6
	14 38 m ... $n = 204,8$	44 20 m ... 208,4	74 15 ... 206,7

L der Entfernung $H = 50 \text{ Skt.} = 4,05 \text{ mm}$. ~~steht eine~~ ^{steht eine} ~~Stange~~ ^{Stange} also der Röhren R den Platingylinder P um $1,8$ Skalenkreise ab entsprechend eines Kreises P dem Größe sich P R ~~beziehen~~ ^{beziehen} aus:

- 18/11/2018

ates :

Abkürzungskopf: $P = 0,0000182$

12h com 205,05



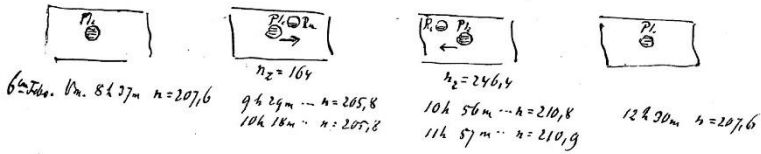
1450 2087

Also für $H = 40 \text{ Jk.}$ $H = 3,2 \text{ m m.}$

Das ~~Rudine~~ pulverförmige Rudine präpariert
lang bei kleinen Versuchen ^{längs dem Rücken am Boden verstreut}
~~am Boden des Reaktionsgefäßes~~.
~~Es~~ verstreut also um etwa 2 m. m. unter der Achse
des Platinzylinder.

Alles wie bei Versuch N^o. 1 mit dem Unterschiede

Das γ_1 Radiumröhrchen um etwa 3 millimeter
über den Platingylinder gehoben wurde:

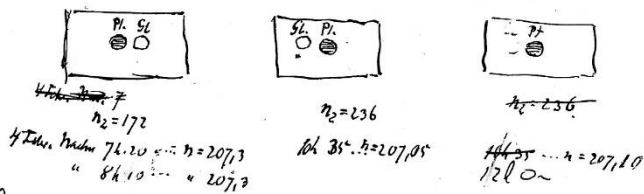


Also bei $H = 41$ ist $H = 3,2$ m. nicht das Röhrchen
den Platingylinder um 2,5 Skalenteile an mit der

$$\text{Anweichungs-Koeffiz. } P = 0,000025,$$

~~Vorbereitung~~ Versuch Nr. 3.

Statt des von Radiumpräparat enthaltenen Röhrchens
wurde eine ~~leere~~ leere Glasröhre gleicher Form
und Größe wie bei Versuch Nr. 1 in das Instrumenten-
gehäuse gebracht.



Es zeigen sich nur Spuren einer Abtönnung, welche

b) 7

Um jeden Zweifel ~~bezüglich~~ⁱⁿ dieser hochwichtigen
Frage ~~zu heben~~^{aufzuheben} ~~an sich~~^{an} ~~aus~~^{ablassen} in können
haben ^{wie die} ~~Wirkung~~ eines Glasröhrchens untersucht,
welches nicht nur ~~der~~^{des} ~~gleichen~~ Form und Masse nach
gleich dem Radiumröhrchen war sondern auch ~~da~~^{wie die}
~~gleiche~~^{beständig} ~~Wärme~~^{Wärme} ~~abstrahlte~~^{abstrahlte}. In das Glasröhrchen wurde ein
kleines Stück Platinblech von 0,04 m. m. Durchmesser
mit dem Ω . Widerstand von 1,41 Ohm ^{eingesetzt} ~~geordnet~~ und dann
durch ~~den~~^{einem} ~~Strom~~^{von entsprechender Intensität} erwärmt.

Vergleich einer sehr sorgfältigen Bestimmung der
von dem Radiumröhrchen ausgehenden Wärme-
menge mit Hilfe ~~von~~^{welcher} ~~Wärme~~^{Wärmemengen} welche ~~Wärme~~^{Wärmemengen} welche
thermoelektrischen Vergleich der ~~Wärme~~^{Wärmemengen} ~~abstrahlte~~^{abstrahlte} durch
den Strom erwärmte ~~und~~ ~~Röhrchen~~ und das Radium-
röhrchen in gleichen Zeiten abstrahlten. Ein solcher
Vergleich ^{mit Hilfe} ~~durch~~ thermoelektrischer Methoden ausge-
führt ergab als Resultat dass ~~das~~ unser Radium-
röhrchen in der Stunde 0,169 Gr. Calorien abstrahlte,

g 10

91

PROLÓGUS

AZ EÖTVÖS-KÉZIRAT ÁTIRATÁHOZ

Dávid Gábor

*Department of Physics and Astronomy, Stony Brook University,
Stony Brook, NY 11974, USA*

Bár kötetünk 193. oldalánál tartunk, a történet mégis itt, az átiratnál kezdődött. 2015. május 22-én elektronikus levelet kaptam Sam Aronsontól, korábbi főnökömtől, aki időközben jó barátom lett, „Nincs mivel töltened a szabadidődöt?” témamegjelöléssel, melyben felhívta figyelmemet az ekvivalencia-elvvel kapcsolatos Eötvös-kísérletekről beszámoló, 1909-ből származó, kézzel írt cikk-fogalmazványra. A kéziratot Eötvös németül írta, az idő vasfoga erősen megrágta (hányattatásának története az Előszóban található), de elég volt egy pillantás, hogy beleszeressek. Mindig is érdekelt az alkotómunka folyamata, csaknem ugyanannyira, mint maga a gondosan leszűrt végeredmény. És most váratlanul az a megtiszteltetés ért, hogy száz év után én lehetek az első, aki megfigyelhetem Eötvöst munka közben: gondolkodásának menetét, érvelését, alázatát és egy zseni lankadatlan törekvését a tökéletességre. Túláradó öröm töltött el, amikor megtudtam, hogy 2015-ben az UNESCO felvette a kéziratot a kulturális világörökség listájára. Már csupán történelmi jelentősége miatt is szívesen elkészítettem volna az átiratot és angol fordítását.

Érdekes módon elsősorban mégsem történeti, hanem tudományos jelentősége miatt kért meg Ephraim Fischbach és Sam Aronson, hogy próbáljam meg kiböngészni és számukra olvashatóvá tenni Eötvös fogalmazványát. Az ötödik erővel kapcsolatos kutatásuk során, egyebek között, részletesen tanulmányozták az 1922-ben, Eötvös halála után, tanítványai által német nyelven publikált Eötvös–Pekár–Fekete cikket, melyet 1986-ban egy Fischbach által vezetett csoport fordított le angolra. Bár a publikált cikk jelentős része szó szerint egyezett a kézirattal, számtalan eltérést találtam. Az 1922-es publikációban fellelhető, de a kéziratból hiányzó részekre kézenfekvő magyarázatnak tűnt, hogy a kézirat megfelelő lapjai 1922-ben még léteztek, de azóta elvesztek. Nehezebb megérteni a fordított helyzetet, vagyis amikor a kéziratban létező szöveg kimaradt a publikációból, vagy az apró változtatásokat, amikor a két szöveg máskülönben hosszú szakaszokon egyezik. Sam és Ephraim azt szeretne volna tudni, van-e valami számukra (az ötödik erő kutatása szempontjából) fontos momentum a kéziratban, amit a publikációból kihagytak, vagy megváltoztattak. Ezért elhatároztam, hogy elkészítem az 1909-es autográf és az 1922-es publikáció „közös halmazát” angolul, amely mindkét szöveget tartalmazza, de tipográfiai eszközökkel világosan elkülönítve eredetük szerint: csak a kéziratban található, csak a publikációban található, vagy mindkettőben azonosan megjelenő szövegek.

Bármennyire nehéz munka volt, minden egyes percét élveztem: ilyen közel kerülni Eötvöshöz életem egyik nagy élménye volt Először is mély benyomást tett rám a legapróbb részletekre is kiterjedő, szinte megszállott figyelme – és ahogy ezeket a részleteket dokumentálta. (Rejtély marad számomra, miért hagyták ki az 1922-es publikációból a mérőműszer részletes leírását, holott Eötvös egyértelműen a cikk fontos részének tartotta – és annak tekintjük mai mércével is.) A 3. fejezetben a lehetséges külső, zavaró hatások és az azok kiküszöbölésére tett erőfeszítések részletes leírását találjuk, kezdve a mágneses hatásokkal és hőmérséklet-változásokkal az épület rezgésein keresztül eljutva egészen egy nagy eső okozta környezeti tömegeloszlás-változásig.

Ha az adott kor szintjéhez mérjük a technikai nehézségeket és az elért pontosságot, minden túlzás nélkül állíthatjuk, hogy az Eötvös-kísérlet a LIGO-kísérlet 20. századi megfelelője (vagy éppenséggel fordítva!). Ennek ellenére Eötvös a fogalmazványában szabadkozik: *„nagyon is tudatában vagyunk annak, hogy az itt közzétett méréseket nem a legmegfelelőbb körülmények között végeztük, és úgy gondoljuk, nem ezek a műszerünkkel elérhető legjobb eredmények. Ámde: „Ars longa, vita brevis” – meg kell elégednünk azzal, hogy egy lépést tettünk előre!”* Helyezzük megfelelő kontextusba: ez az „egy lépés előre” kb. 300-szoros pontosság-javulást jelent az előző legjobb, Bessel-féle mérésekhez képest! Álszerénység? Meg vagyok győződve róla, hogy nem! Úgy hiszem, Eötvös tudta, hogy a tudományt akkor szolgáljuk leghívebben, ha legnagyobb diadalunkat is kellő alázattal fogadjuk.

A kísérlet átfogó jellege is tiszteletet érdemlő: vizsgálat tárgyává tette az ekvivalencia elv érvényességét szilárd testekre, folyadékokra, oldatokra, és ami a legmeglepőbb, radioaktív anyagokra is, holott a radioaktivitást mindössze egy évtizede fedezték fel! Ez tette lehetővé számára, hogy kijelentse: a tehetetlen és súlyos testek arányossága anyagi minőségtől független, és az arányossági tényező állandó. Ez az alapvető kísérleti eredmény alátámasztotta a hamarosan ezután megjelent Einstein-féle általános relativitás-elméletet. Bár ezt joggal nevezhetnénk tiszta alapkutatásnak, az elvégzéséhez kifejlesztett precíziós eszköz érdekes módon széleskörű gyakorlati alkalmazást nyert a nyersanyagkutatásban. És ez nem ritka eset: újra és újra előfordul, hogy alapvető természeti törvények vizsgálata céljára kifejlesztett eszközök szinte azonnal komoly gazdasági hasznot is hajtanak.

A tudományos publikációk rendszerint objektívek, személytelenek: csiszolt, tényszerű olvasmányok. A kézírás többet nyújt: a jelenlét illúzióját adja, mintha a szerző válla fölött kukucskálva meglesnénk a szerző kínlódását, hogy témáját a legtisztábban, legvilágosabban öntse formába. Bepillantást enged a zseni mögött az emberbe, megmutatja a fogalmazványtól a végső, kikristályosodott formához vezető folyamatot. Eötvös esetében ehhez még hozzáadódik kézírásának esztétikai élménye és az az intellektuális fegyelem, amit tükröz. Amikor nyilvánosságra hozzuk ezt a fogalmazványt, és összeolvasszjuk a publikált szöveggel, az ekvivalencia-elvről szóló legfontosabb cikkel, legmélyebb tiszteletünket fejezzük ki a legnagyobb magyar fizikus, báró Eötvös Loránd személye és tudományos eredményei iránt.

A kéziratlapokon általában kétféle oldalszámozás szerepel: a jobb felső sarokban láthatók az Eötvös-féle számok, melyek néhol olvashatatlanok, de vannak oldalszámozás nélküli részek is. A jobb alsó sarokban a restaurátorok által adott, folyamatos számozás látható, amely a lapok összekeveredése miatt az átiratban már nem követik a szabályos sorrendet. A kettős számozás segítségével azonban az olvasó egyértelműen beazonosíthatja a kézírásos oldalt az átirattal.

AZ EÖTVÖS-KÉZIRAT ÁTIRATA

Kézirat p. 2/1¹

1) Die Aufgabe, wie sie hier aufgefasst und behandelt wurde.

Das Newton-sche Gesetz lässt sich folgenderweise aussprechen:

Jeder kleinste Theil eines Körpers zieht jeden anderen solchen mit einer Kraft an, deren Richtung mit der Verbindungslinie beider Theile zusammenfällt und deren Grösse dem Produkt ihrer Massen direkt und dem Quadrat ihres Abstandes voneinander umgekehrt proportional ist. Sind also M und m die beiden Massentheile und r ihr Abstand, so ist die Grösse ihrer gegenseitigen Anziehung

$$P = f \frac{Mm}{r^2}$$

Entsprechend den Prinzipien der Galilei-Newtonschen Mechanik ist dann die Beschleunigung des Massentheiles m gegen M :

$$\gamma = f \frac{M}{r^2}.$$

Proportionalität von Trägheit und Gravität ist also gleichbedeutend damit das f eine constante Grösse sei (Gravitationsconstante).

Kézirat p. 4/3²

2) Über Beobachtungen zur Entscheidung der Frage ob die Gravitation von der materiellen Beschaffenheit der Körper abhängig sei.

Vor allem haben wir hier der Beweisgründe zu gedenken welche Newton selbst in seinen Prinzipien für die Proportionalität von Trägheit und Gravität verschiedener Körper anführt. Dieselben sind zweifacher Art: astronomische die sich besonders auf die Bewegung der Jupitertrabanten beziehen, und terrestrische die sich auf Beobachtungen des freien Falles und der pendelnden Bewegung materiell verschiedener Körper stützen. Beide Arten der Beweisführung ergeben nach Newton als Resultat, dass, obwohl eine Verschiedenheit von nur $\frac{1}{1000}$ der gravitationellen Anziehungskraft von verschiedenen Körpern gleicher Masse und gleicher Lage durch solche Beobachtungen erkannt werden müsste, die gravitationelle Anziehung von der substantiellen Beschaffenheit der Körper unabhängig zu sein scheint.

Kézirat p. /2

Der nach Newtons Zeiten sich unaufhaltsam entwickelnde Fortschritt in der Kunst der Beobachtung irdischer und himmlischer Bewegungen ermöglichte später auch eine verfeinerte Ausführung dieser seinem Gesetze zugrunde liegenden Untersuchungen. So wollen wir hier besonders auf die klassischen Pendelbeobachtungen Bessel's hinweisen,

¹ A kézirat első oldala elveszett.

² A felül számozás nélküli, alul 2-es számot viselő lap rossz helyre került, áthelyezve a megfelelő helyre: jelen lap után található.

durch welche die Grenze einer immerhin noch möglichen Verschiedenheit der Anziehung verschiedener Körper von $\frac{1}{1000}$ auf $\frac{1}{60000}$ verschoben wurde.

Noch viel beträchtlicher, bis zu $\frac{1}{20000000}$ wurde diese Grenze in neuerer Zeit durch die Untersuchungen von Eötvös herabgesetzt, der unser empfindlichstes Instrument, die Drehwaage, sich zu diesem Zwecke dienstbar gemacht hatte. Die Methode und die Resultate dieser Untersuchung sind nur in einer kurzen Notiz im VIII Bande der naturwissenschaftlichen Berichte aus Ungarn vom Jahre 1890 bekannt gemacht, so hatten wir...³

Kézirat p. 9/4
und somit

$$3) \quad \tan \varepsilon = \frac{C \sin \varphi}{g + C \sin \varphi}$$

Zur besseren Übersicht haben wir die Werte von g, G, C und ε den Daten des Besselschen Ellypsoids und der Helmertschen Formel entsprechend für die geographischen Breiten eines Erdquadranten 5 zu 5 Grad berechnet und in beifolgender Tabelle zusammengestellt. Hierbei werden also die Werthe benützt:

für die grössere Halbachse des Erdellipsoiden $a = 637739700$ cm
für die kleinere Halbachse desselben $b = 635607800$ cm

ferner

$$g = 978,00(1 + 0,00531 \sin^2 \varphi)$$

Zur Berechnung der Centrifugalkraft diene die Formel:

$$C = l\omega^2 = \frac{a \cos \varphi}{\sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{a^2} \sin^2 \varphi}} \omega^2$$

wo

$$\omega^2 = 5,31751 \cdot 10^{-9}.$$

Kézirat p. 10/5

Wenn wir im Rahmen dieser Untersuchung die Möglichkeit zulassen, dass die Anziehung von Körpern gleicher Masse aber verschiedener Beschaffenheit eine verschiedene sei, so sind die Grössen G und f und in Folge dessen auch g und ε als von dieser Beschaffenheit abhängig zu betrachten. Wir können dann auch nicht Kurzweg von der Schwere reden, auch nicht von einer einzigen durch einen Punkt gelegten Niveaufläche, sondern müssen verschiedene Schweren und verschiedene Niveauflächen unterscheiden je nach der Art der schweren Körper.

Dem entsprechend wären dann auch in der annähernden Darstellung der Schwereverhältnisse an Stelle eines einzigen Bessel-schen Ellypsoids und einer einzigen Halmartschen Formel viele solche Ellypsoids und viele solche Formeln zu setzen welche den vielen verschiedenen Körpern entsprechen.

Kézirat p. 11/6

Am zweckmässigsten scheint es zu sein die Schwereverhältnisse einer Normalsubstanz festzustellen, und jene der anderen durch ihre Abweichungen von diesen zu kennzeichnen. Als solche Normalsubstanz diene beispielsweise das Wasser und so wollen wir auch die in der vorangehenden Tabelle enthaltenen Werthe als auf die Schwere des Wassers bezogene betrachten.

³ A kéziratból 3 oldal hiányzik.

Von grösster Wichtigkeit für unsere Betrachtungen ist die dieser Auffassung entsprechende Verschiedenheit der Richtung der Schwere verschiedener Körper. Setzen wir für einen Körper

$$C \sin \varphi = G \sin \varepsilon$$

und für einen anderen

$$C \sin \varphi' = G' \sin \varepsilon'$$

so können wir, da die Richtungen der Anziehungskräfte G und G' die gleichen sind, also unserer Figur entsprechend

$$\begin{aligned}\varphi &= \psi + \varepsilon \\ \varphi' &= \psi + \varepsilon'\end{aligned}$$

Kézirat p. 12/7
den Winkel

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi$$

berechnen, den die Richtungen ihrer Schweren bilden.

In Anbetracht dass dieser Winkel gewiss sehr klein ist erhalten wir:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = -\frac{G' - G}{G \cos \varepsilon - C \cos \varphi} \sin \varepsilon \quad 4)$$

wo wir in Anbetracht dessen dass ε kleiner als 6 Minuten ist statt $\sin \varepsilon$ auch ε setzen können. Mit Berücksichtigung der Gleichung (1) wird dann:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = -\frac{G' - G}{g} \sin \varepsilon.$$

Bezieht sich nun G auf die Normalsubstanz (Wasser) und setzen wir

$$G' = G(1 + \kappa)$$

dann folgt:

$$\varepsilon' - \varepsilon = \varphi' - \varphi = -\frac{G}{g} \kappa \sin \varepsilon. \quad 5)$$

Kézirat p. 13/8

Hiermit erlangt die Grösse κ die Bedeutung eines spezifischen Attraktionskoeffizienten, denn es ist

$$\frac{G'}{G} = \frac{f'}{f}$$

also

$$f' = f(1 + \kappa).$$

Die Pendelversuche Newtons besagten eben, dass κ kleiner als $\frac{1}{1000}$; die Bessels, dass κ kleiner als $\frac{1}{60.000}$; die von Eötvös, dass κ kleiner als $\frac{1}{20.000.000}$ sei.

(A következő szöveg lábjegyzet-szerű beszúrás a kézirat 13/8. oldalának margóján.)

Zur Erläuterung unserer folgenden Betrachtungen wollen wir noch den Ablenkungswinkel η einführen, den die Richtung der Schwere einer beliebigen Substanz mit jener der Normalsubstanz (Wasser) nach den Polen zu bildet, also in der nördlichen Hemisphäre nach Norden. Da

$$\eta = \varepsilon - \varepsilon',$$

so schreiben wir

$$\eta = \frac{G}{g} \kappa \sin \varepsilon.$$

Überlegen wir nun, in welcher Weise sich eine solche Verschiedenheit der Schwererichtung verschiedener Körper fühlbar machen müsste. Vor allem drängt sich uns

die Folgerung auf, dass Lotsenkel aus verschiedenen Substanzen und Flüssigkeiten verschiedener Art in ihrem Ruhezustande verschiedene Richtungen der Vertikale angeben würden. Das Lot wäre dann im allgemeinen auch nicht normal auf die ruhende Flüssigkeitsfläche.

Kézirat p. 14/9

Laut den Angaben der vorangehenden Tabelle beträge dieser Richtungsunterschied unter dem 45^{ten} Breitengrade

$$\begin{aligned}\text{für } \kappa &= \frac{1}{1000} \dots\dots\dots 0,375 \text{ Sekunden} \\ \text{für } \kappa &= \frac{1}{60.000} \dots\dots\dots 0,00595 \text{ Sekunden} \\ \text{für } \kappa &= \frac{1}{20.000.000} \dots\dots\dots 0,000018 \text{ Sekunden.}\end{aligned}$$

Directe Beobachtungen solcher, eventueller Richtungsunterschiede sind wohl hier mit der Absicht angestellt worden die uns hier beschäftigende Frage zu lösen, doch wollen wir die seiner Zeit ein gewisses Aufsehen erregenden Versuche *Guyots* in Erinnerung bringen. *Guyot* beobachtete im Jahre 1836 im Pantheon zu Paris die von einer ruhenden Quicksilberfläche zurückgeworfenen Spiegelbilder von Marken, welche sich längst einer 57 Meter langen ruhenden Pendels angebracht waren, und fand dass dessen Ende um $4\frac{1}{2}$ Millimeter nach Süden abweicht

Kézirat p. 15/10

von den Normalen der Flüssigkeitfläche⁴. Die Berechtigung hieraus auf eine Abweichung der Schwerkraftichtung zu schliessen wurde stark bezweifelt. Verfasser selbst hatte Gelegenheit in einem Thurme von 22 Meter höhe durch Aufhängen von Pendeln verschiedenen Materials, besonders verschiedenartiger Aufhängefäden, zu überzeugen, dass deren Enden wohl Abweichungen zeigen, diese aber von dem Drucke der ungleich erwärmten und bewegten Luft herrühren.

Eine weitere Folge der von der materiellen Beschaffenheit abhängigen Schwerkraftichtung wäre eine Ungleichheit der Schwerkraft-Niveauflächen verschiedener Substanzen.

Sei APN (Fig. 2) ein Meridianquadrant der Niveaufläche für die Normalsubstanz (Wasser), $AP'N'$ derselbe für eine andere Substanz mit dem Anziehungscoefficienten κ .

Kézirat p. 16/11

Der Abstand beider durch denselben Punkt am Aequator gelegten Niveauflächen lässt sich dann ohne Schwierigkeiten berechnen. Führen wir nämlich die Masseneinheit der zweiten Substanz von A ausgehend längs der Niveaufläche der Normalsubstanz nach P , dann von P nach P' und längs der zweiten Niveaufläche nach A zurück so ist die ganze auf diesem geschlossenen Wege geleistete Arbeit = 0. Also

$$\int_0^{\varphi} g' \cdot \eta \cdot ds + zg' = 0$$

wo ds ein Bogenelement des Meridianquadranten, z den nach abwärts positiven Abstand der Niveaufläche $AP'N'$ bedeutet.

Benützen wir die Beziehungen 6) und 2), so folgt:

⁴ Guyot: La pendule n'est pas perpendiculaire a la surface des liquides tranquilles C. R. XXXII Fortschritte der Physik VI.

$$\int_0^\varphi \frac{g'}{g} C \sin \varphi ds = -g' z$$

Um langwierige Rechnungen

(Kézirat p. 17/12 áthelyezve az Abs 16/78 és Abs 18/80 közé)

Kézirat p. 17/13

zu vermeiden setzen wir mit hier noch sehr befriedigender Annäherung g für g' und

$$\begin{aligned} ds &= r d\varphi \\ C &= r \cos \varphi \omega^2 \end{aligned}$$

mit r den mittleren Erdradius bezeichnend. Dann ist:

$$z = -\frac{1}{2} \frac{\kappa}{g} r^2 \omega^2 \sin^2 \varphi$$

und für $\varphi = 90^\circ$ d.i. an einem Pole der Erde

$$z = -\frac{1}{2} \frac{\kappa}{g} r^2 \omega^2$$

Setzen wir $r = 636740000$ cm und benützen die aus der Tabelle enthaltenen Werte, so ergibt sich als grösster Abstand der Niveauläche beliebiger Substanz von der des Wassers bei den Polen zu

$$z = -1380250 \kappa . C.$$

es wäre demnach

$$\text{für } \kappa = \frac{1}{1000} \quad z = -1380C$$

Kézirat p. 18/14

$$\text{für } \kappa = \frac{1}{60000} \quad z = -23C$$

$$\text{für } \kappa = \frac{1}{20000000} \quad z = -0,069C$$

positiven Werten von κ entspricht an den Polen eine Erhebung, negativen eine Senkung der Niveauläche.

Man könnte da an eine derartige Secretion irdischer Substanzen denken dass solche mit positiven κ sich um die Pole, solche mit negativem κ dagegen aequatorialen Gegenden sich anhäufen, doch sind die eine solche bewirkenden eventuellen Kräfte gewiss viel zu klein, die gegen sie wirkende Widerstände aber viel zu gross um solche Ausscheidungen zu ermöglichen.

Überraschend genug ist es schon dass so kleine Richtungsunterschiede ausreichend sind um mechanische Antriebe zu bewirken, welche wahrgenommen

Kézirat p. 19/15

und wie es Eötvös angegeben mit Hilfe der Drehwaage auch gemessen werden können.

Besteht das Gehänge der Drehwaage aus Massen verschiedener Materiale m_1, m_2, m_3 usw., so müsste infolge unserer Betrachtungen die durch den Messdraht dargestellte Drehungsachse von der Richtung der Schwere des Wassers um einen Winkel E nach dem Pole abweichen, der leicht zu berechnen ist. Betrachten wir nämlich die Gleichgewichtsbedingungen eines solchen Gehänges um eine west-östlich gerichtete horizontale Achse O (Fig 3), so erhalten wir für das Drehungsmoment der Schwere eines homogenen Massentheiles m_1 die Grösse:

$$-m_1 Q_1 g_1 \sin(\gamma_1 - \eta_1)$$

und als Gleichgewichtsbedingung:

$$\sum m_{\kappa} \varrho_{\kappa} g_{\kappa} \sin(\gamma_{\kappa} - \eta_{\kappa}) = 0$$

wo ϱ_{κ} den Drehungshalbmesser des Schwerpunktes der Masse m_{κ} und γ_{κ} den Winkel bedeutet, den ϱ_{κ} mit der Richtung der Wasserschwere einschliesst; g_{κ} ist die Schwere der Masseneinheit von m_{κ} und η_{κ} die Abweichung ihrer Richtung von der der Wasserschwere.

Kézirat p. 21/16

Wir wollen nun unsere weiteren Rechnungen auf ein rechtwinkliges Koordinatensystem beziehen, dessen Z Achse mit der Drehungsachse (Messdraht) zusammenfällt und nach unten gerichtet ist, während die X Achse nach Norden, die Y Achse nach Osten gerichtet seien. Das aus den vorher betrachteten Richtungsabweichungen entspringende Drehungsmoment der Schwere ist dann:

$$-\sum m_{\kappa} g_{\kappa} y_{\kappa} (\eta_{\kappa} - E) = -\sum m_{\kappa} g_{\kappa} y_{\kappa} \eta_{\kappa} + E \sum m_{\kappa} g_{\kappa} y_{\kappa} \quad ;$$

da aber in Folge des Gleichgewichtes um die X Achse

$$\sum m_{\kappa} g_{\kappa} y_{\kappa} = 0,$$

so beschränkt sich dieses Drehungsmoment auf das erste Glied:

$$-\sum m_{\kappa} g_{\kappa} y_{\kappa} \eta_{\kappa}.$$

An den Drehwaagen, welche hier benützt wurden, waren die verschiedenen Massen längs eines geraden Stabes angebracht.

Az Abs 21/17. és Abs 22/18. oldal áthelyezve az Absorption fejezetbe.

Kézirat p. 23/19

Die Grösse dieses eventuellen Drehungsmomentes sei durch ein Beispiel erleuchtet.

Mögen an beiden Enden eines 40 cm langen homogenen Stabes zwei Massen verschiedener Substanz von je 25 Gramm hängen. Unter dem 45. Breitengrade wo $G \sin \varepsilon = 1,7$ ist dann im Falle, dass das a -Ende des Stabes nach Osten weist

$$D = 25 \cdot 20 \cdot 1,7 (\kappa_b - \kappa_a) = 850 (\kappa_b - \kappa_a)$$

Wenn aber das Ende a nach Westen zeigt

$$D' = -850 (\kappa_b - \kappa_a),$$

also

$$D - D' = 1700 (\kappa_b - \kappa_a),$$

Wäre $\kappa_b - \kappa_a = 10^{-6}$ so ergäbe sich

$$D - D' = 0,0017$$

und dieses Drehungsmoment würde an einem Drahte, dessen Torsionsconstante 0,5, und dabei doch die geforderte Tragfähigkeit besitzen kann, eine Drillung bewirken, welche in der Entfernung von 1500 Skalentheilen abgelesen, in Skalentheilen ausgedrückt

$$n - n' = \frac{0,0017}{0,5} 3000 = 10,2 \quad \text{Skalentheile.}$$

Kézirat p. Abs 20/20 áthelyezve az Absorption fejezetbe.

Kézirat p. $\frac{26}{1}$ /21

$$\vartheta = \frac{1}{2} \frac{K}{\tau} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{K}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \frac{M_a h l}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha$$

8)

$$+ \frac{M_a h l}{\tau} \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha + \frac{1}{\tau} (\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a) G \cdot \sin \varepsilon \cdot \sin \alpha,$$

τ bedeutet hier die Torsionsconstante.

Bei der Feststellung dieser Gleichung 8) sind die auch mit Rücksicht auf das letzte Glied verschwindend kleinen Veränderungen vernachlässigt worden, welche die zweiten Differentialquotienten des Potentials U infolge verschiedener Anziehung verschiedener Substanzen erleiden könnten. Wohl ist zu beachten dass die Grösse

$$\sum m_b l_b - \sum m_a l_a$$

hier nicht mehr strenger als gleich Null betrachtet werden darf, doch bleibt dieselbe von der Ordnung der Grösse

$$\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a$$

da für das Gleichgewicht um eine horizontale

Kézirat p. $\frac{26}{22}$

Achse

$$\sum m_b l_b g_b - \sum m_a l_a g_a = 0$$

sein muss und das Verhältnis $\frac{g_b}{g_a}$ nur um ein Bruchtheil λ von der Einheit verschieden ist, der von derselben Ordnung wie κ ist.

Für das Drehwaagengehänge oben beschriebener Art können wir im Falle, dass die Röhre an beiden Seiten gleich lang, homogen und überall von gleicher Stärke ist, setzen:

$$\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a = M_b l_b \kappa_b - M_a l_a \kappa_a$$

also mit Vernachlässigung des mit $\lambda \kappa_b$ multiplizierten Gliedes

$$\sum m_b l_b \kappa_b - \sum m_a l_a \kappa_a = M_b l_a (\kappa_b - \kappa_a) \quad 8')$$

Die Gleichungen 8) und (8') werden uns später den Weg anweisen, wie durch Elimination aller anderer Unbekannten die Grössen $(\kappa_b - \kappa_a)$ mit Hilfe von Beobachtungen bestimmt werden können und so die Frage gelöst werden kann, ob ihr Wert die Grenze des Messbaren erreicht.

Kézirat p. 27/23

Solche Versuche nach der Methode von Eötvös geben uns aber nur Aufklärung über die Anziehung eines einzigen Körpers, nämlich die der Erde. Gewiss ist es von Interesse zu untersuchen, ob nicht auch die Anziehungen von Sonne und Mond, die ja in den Flutherscheinungen und in den Richtungsänderungen des Lotes tatsächlich fühlbar werden, mit zur Aufklärung unserer Frage beitragen könnten? In kurzer annähernder Behandlung des so komplizierten Fluthphänomens wollen wir hierauf Antwort geben.

Die sogenannte flutherzeugende Kraft können wir aus zwei Componenten zusammensetzen.

Kézirat p. 28/24

Eine dieser Componenten ist die Anziehung welche Sonne oder Mond auf ein Massentheilchen auf Erden ausübt; ihre Grösse, bezogen auf die Masseneinheit, wird unter Annahme eines barycentrischen anziehender Körpers:

$$= f \frac{M}{\varrho^2}$$

wo M die Masse von Sonne oder Mond, ϱ die Entfernung von ihrem Anziehungs-centrum bedeutet. Diese Kraft, welche für verschiedene Massentheile der Erde schon wegen ihrer Lage ungleich gross und ungleich gerichtet ist, wollen wir hier auch noch als von der substantiellen Beschaffenheit, also von κ abhängig betrachten.

Die zweite hier mitwirkende KraftComponente ist die der Trägheit entsprechende Centrifugalkraft jener kreisenden Bewegung, welche die Erde um den Trägheitsmittelpunkt der Sonne und der Erde,

Kézirat p. 29/25

resp. des Mondes und der Erde beschreibt. Diese ist für jedes Theilchen der von ihrer Achsendrehung befreiten Erde gleich gross und gleich gerichtet, wir wollen sie, auf die Masseneinheit bezogen, mit C bezeichnen.

Da die auf die ganze Erde ausgeübte Anziehung und die Centrifugalkraft ihrer ganzen Masse gleich gross sein müssen, so setzen wir

$$C = f_0 \frac{M}{D^2}$$

wo D die Entfernung des Trägheitsmittelpunktes der Erde vom gemeinschaftlichen Trägheitsmittelpunkte von Sonne und Erde resp. von Mond und Erde bedeutet. Das Zeichen f_0 bezeichnet hier einen Mittelwert der für verschiedene Substanzen der Erde eventuell verschiedenen Werte von f .

Diesen Betrachtungen entsprechend und unter Annahme einer kugelförmigen Erde erhalten wir dann als Componenten der auf ein irdisches Coordinatensystem bezogenen Kräfte:

Kézirat p. 30/26

eine nach oben gerichtete vertikale Kraft (Fig 5):

$$-Z = f \frac{M}{D^2} \cos \zeta - C \cos \zeta + fM \frac{a}{D^3} (2 \cos^2 \zeta - \sin^2 \zeta)^5$$

und eine horizontale Kraft

$$H = f \frac{M}{D^2} \sin \zeta - C \sin \zeta + \frac{3}{2} fM \frac{a}{D^3} \sin 2\zeta.$$

+In diesen Gleichungen bedeutet ζ die Zenithdistanz von Sonne oder Mond, a den mittleren Halbmesser der Erde, H ist nach jenem Punkte des Horizontes gerichtet, in dem die Vertikalebene von Sonne oder Mond den Horizont schneidet, und für welchen ⁶

$$\zeta = +\frac{\pi}{2} \quad \text{ist.}$$

Die hier angeführte annähernde Berechnung durch eine vollständigere zu ersetzen, würde den Rahmen dieser Abhandlung übersteigen.

Setzen wir

$$f = f_0(1 + \kappa)$$

so wird:

$$9) \quad -Z = \kappa f_0 \frac{M}{D^2} \cos \zeta + fM \frac{a}{D^3} (2 \cos^2 \zeta - \sin^2 \zeta)$$

und

$$10) \quad H = \kappa f_0 \frac{M}{D^2} \sin \zeta + \frac{3}{2} fM \frac{a}{D^3} \sin 2\zeta.$$

Wenn $\kappa = 0$, so sind dies die gewöhnlichen, die flutherzeugende Kräfte darstellenden Kraftcomponenten (Siehe z. B. Thomson-Tait, Handbuch der Theor. Physik I Bd. § 812).

Kézirat p. 31/27

Wenn aber κ von Null verschieden wäre, so müsste neben der von den zweiten Gliedern unserer Gleichungen bedingten halbtägigen Flutherscheinung auch eine solche von der Periode eines ganzen Tages eintreten, die den ersten Gliedern entspräche.

⁵ Eötvös itt és a 9), 10) egyenletben ϑ -t használt, később áttért ζ használatára. Mind a nyomtatott szövegben, mind a fordításokban ζ szerepel, így itt is ezt használjuk.

⁶ Lábjegyzet szerű beszúrás a margón az 5. ábrával.

Wenn $\zeta = 0$, so wird

$$-Z = \kappa f_0 \frac{M}{D^2} + 2f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D}$$

und wenn $\zeta = \pi$, so wird

$$-Z = -\kappa f_0 \frac{M}{D^2} + 2f \frac{M}{D^2} \frac{a}{D}$$

Das Verhältniß des ersten Gliedes zum zweiten ist dann $\kappa:2\frac{a}{D}$; berücksichtigen wir also dass für Erde und Sonne $\frac{a}{D} = \frac{1}{23600}$ und für Erde und Mond $\frac{a}{D} = \frac{1}{60,27}$ gesetzt werden kann, so folgt dass $\kappa = \frac{1}{11800}$ sein müsste um die der Sonne entsprechende Fluth einmal zu verdoppeln, dann nach halben Tage ganz zu vernichten, und nicht kleiner als $\frac{1}{30}$ sein dürfte um die gleiche Wirkung gegen die halbtägige Mondfluth erzielen zu können.

Kézirat p. 32/28

Nehmen wir an dass die Kraft $-Z$ bis zu etwa $\frac{1}{100}$ seiner Grösse aus den Flutherscheinungen bestimmt werden könnte, so würde demnach die Beobachtung der Sonnenfluthen noch zur Erkenntnis von Werthen des Coefficienten κ führen welche grösser als 10^{-6} d. i. der ein millionstel Theile der Einheit sind.

+))Eine so genaue Beobachtung einer eventuellen der Sonnenanziehung entspringenden 24stündigen Fluthwelle is aber schon darum kaum denkbar, weil dieselbe von den in gleicher Periode wiederkehrenden Wirkungen der Sonnenstrahlung schwer zu trennen ist.⁷

Besser lassen sich die Gleichungen 9) und 10) für Beobachtungen mit der Drehwaage verwerthen. Stellen wir nämlich eine Drehwaage von der früher beschriebenen Art so auf, dass das Azimuth des Stabes $\alpha = 0$ sei, also die Stabachse im Meridiane liege und ihr Ende a nach Norden zeige, so wirken auf dieselbe zwei äussere Drehungsmomente. Das eine rührt von der Erdschwere her, und bewirkt eine zeitlich unveränderliche Drillung ϑ_0 des Drahtes, das zweite entspricht der von der Zeit abhängigen Kraft H , deren Grösse durch die Gleichung 10) gegeben ist.

Kézirat p. 33/29

Wenn A das Azimuth der Sonne oder des Mondes bedeutet, so ist die auf die Stabachse normale Componente der Kraft H gleich $-H\sin A$, und wir erhalten für die Drillung des Messdrahtes

$$\begin{aligned} \vartheta &= \vartheta_0 - \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \{ \sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b \} \sin \zeta \sin A \\ &\quad - \frac{3}{2} \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} \{ \sum m_a l_a - \sum m_b l_b \} \sin 2\zeta \sin A \\ &\quad - \frac{3}{2} \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \frac{a}{D} \{ \sum m_a l_a \kappa_a - \sum m_b l_b \kappa_b \} \sin 2\zeta \sin A \end{aligned} \quad (11)$$

Das letzte Glied des zur rechten Seite dieser Gleichung stehenden Ausdruckes kann wegen des Faktors $\frac{a}{D}$ vernachlässigt werden, ebenso auch das vorangehende Glied, weil

$$\sum m_a l_a - \sum m_b l_b$$

von derselben Grössenordnung ist, wie

⁷ Lábjegyzet szerű beszúrás a margón.

$$\Sigma m_a l_a \kappa_a - \Sigma m_b l_b \kappa_b$$

so dass näherungsweise die Formel benützt werden darf:

$$12) \quad \vartheta = \vartheta_0 - \frac{1}{\tau} f_0 \frac{M}{D^2} \{ \Sigma m_a l_a \kappa_a - \Sigma m_b l_b \kappa_b \} \sin \zeta \sin A$$

Kézirat p. 34/30

An einem Beispiele können wir uns nun über die Grösse und Messbarkeit dieser Drilling Aufklärung verschaffen. Benützen wir das im vorangehenden Beispiele beschriebene Instrument, für welches

$$\Sigma m_a l_a \kappa_a - \Sigma m_b l_b \kappa_b = M_a l_a (\kappa_a - \kappa_b)$$

gesetzt werden kann, und $M_a = 25 \text{ g}$, $l_a = 20 \text{ cm}$, $\tau = 0,5$ ist.

Es sei ferner:

$$\text{für die Sonne: } f_0 \frac{M}{D^2} = 0,586,$$

$$\text{für den Mond: } f_0 \frac{M}{D^2} = 0,00332.$$

Dann erhalten wir die der Sonnenanziehung entsprechende Drilling:

$$\vartheta = \vartheta_0 - 586(\kappa_a - \kappa_b) \sin \zeta \sin A$$

die der Mondanziehung entsprechende:

$$\vartheta = \vartheta_0 - 3,32(\kappa_a - \kappa_b) \sin \zeta \sin A$$

Wir wollen uns hauptsächlich nur mit der⁸

Kézirat p. 36/31

$$\vartheta - \vartheta' = 586(\kappa_a - \kappa_b)(\sin A' - \sin A)$$

und für den Fall, dass

$$\sin A' - \sin A = 2$$

wie dies zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche annähernd zutrifft,

$$\vartheta - \vartheta' = 1172(\kappa_a - \kappa_b)$$

oder in Theilen einer Skala in der Entfernung von 1500 Skalentheilen

$$n - n' = 3516000(\kappa_a - \kappa_b)$$

Für $(\kappa_a - \kappa_b) = 1 \times 10^{-6}$ würde sich daher eine Elongation von

$$n - n' = 3,5$$

ergeben.

Die Empfindlichkeit eines auf diese Betrachtungen gegründeten Beobachtungsverfahrens ist also etwa nur ein Drittel

Kézirat p. 37/32

der von Eötvös angegebenen, solange nämlich dasselbe Instrument benützt wird. Trotzdem verspricht dieses neue Verfahren manche Vorteile, da es sich auf Beobachtungen an einem stabilen Instrumente stützt, und somit ein solches von viel grösserer Empfindlichkeit benützt werden kann. Der Eötvös-sche Gravitationskompensator⁹ erlaubt ja bei Ausschluss störender Einflüsse die Empfindlichkeit solcher stabilen Drehwaage bis zu einer beliebigen Grenze zu steigern.

⁸ Itt egy oldal hiányzik.

⁹ Eötvös: Untersuchungen über Grav. und Erdmagn. Wied. Ann. Bd. 59, S.392

Beide Verfahren ergänzen sich übrigens in der Weise, dass das erste über die Anziehung der Erde, das zweite über die Anziehung der Sonne den gewünschten Aufschluss erteilt.

Kézirat p. 38/33

3) Näheres über die Ausführung von Beobachtungen nach der von Eötvös angegebenen Methode

Benützt wurden zwei Instrumente derselben Art, wie sie Eötvös bei seinen Untersuchungen lokaler Schwerevariationen benützt und im ersten Bande der Behandlungen der XV. Allgemeinen Konferenz der Erdmessung (1906) beschrieben hat. Es sind dies Drehwaagen von grosser Empfindlichkeit, welche um eine vertikale Achse drehbar, also für die hier behandelten Untersuchungen eben geeignet sind. Fig. 6 stellt dar eine von Eötvös "das einfache Schwerevariometer" genannte Instrument im vertikalen, Fig. 7 in horizontalen Querschnitte dar.

Das Gehäuse ist aus einem 3mm starken Messingblech und aus gleichstarken Messingröhren

Kézirat p. 39/34

hergestellt, welche das Gehäuse zweifach, im unteren herabhängenden Theile sogar dreifach umschliessen. Dieses Gehäuse ist um eine vertical stellbare Achse drehbar und auf festen Gestelle aufgesetzt wobei zur Bestimmung der Grösse ihrer Drehung ein im drittel Grade geteilter mit Nonius bis zur Genauigkeit einer Minute ablesbarer Kreis dient.

Das Gehänge besteht aus einer dünnwandigen Messingröhre von circa 40 cm Länge und 0,5cm Durchmesser; in diese ist an einem Ende (b) ein Platincylinder von circa 30 gr Gewicht hineingeschoben, während am anderen Ende (a) die zu untersuchenden verschiedenen Körper auf dünnen Drahte aufgehängt werden. Hierbei muss das Gewicht dieses Körpers stets so ausgeglichen werden, dass es den am anderen Ende constant belasteten Balken stets in dieselbe horizontale Lage bringe. Die Aufhängung geschah derart dass der Trägheitsmittelpunkt

Kézirat p. 40/35

dieses Körpers nun ungefähr 21 Centimeter unter die Balkenachse zu liegen komme. Diese Länge h musste besonders bei einem Theile der Versuche genauer bekannt sein, zu welchem Zwecke nebst dem Kathetometer auch noch eine zweckentsprechend eingerichtete Waage benützt wurde. Mit Hilfe dieser konnte die Lage des Schwerpunktes in dem untersuchten, nicht immer aus einem einzigen Materiale bestehenden Körper durch die Veränderung bestimmt werden, welche ihre Empfindlichkeit dann erhält, wenn der Körper am Waagebalken befestigt wurde. Die erreichte Genauigkeit war für h etwa $\frac{1}{10}$ Millimeter, was mehr als ausreichend ist.

Um die Lage des Drehwaagebalkens bestimmen zu können wurde derselbe mit einem Spiegel versehen und in der Entfernung von circa 60 Centimetern eine in halbmilli-metern getheilte Skale mit dem Drehwaagegehäuse fest verbunden angebracht. Die Ablesung geschah mit gebrochenen Fernrohre, um das Instrument in möglichst kleinen

Kézirat p. 41/36

Raume aufstellen und beobachten zu können. Zur Aufhängung des ganzen etwa 80 Gramm schweren Gehänges, also als Messdrähte benützten wir solche aus Platiniridium von 0,04mm Durchmesser und circa 60 c. Länge. Die Drähte wurden bei einer Belastung von 80 gr. langsam bis über 100°C erwärmt und wieder abgekühlt und erlangten nach mehrmaliger Wiederholen dieser Procedur nach dem Verlaufe von einigen Monaten eine nahezu vollkommene Constanz ihrer Gleichgewichtslage. Selbst die heftigen

Erschütterungen, welche bei der Umdrehung des Instrumentes namentlich bei exzentrischer Lage der Aufhängedrähte eintreten verursachen im allgemeinen keine bemerkbaren, nur im wenigen Fällen sehr kleine Veränderungen dieser Gleichgewichtslage.

Versuche, die wir mit Quarzfäden anstellten, ergeben bei weitem nicht so günstige Resultate.

Kézirat p. 42/37

Die Gleichgewichtslage belasteter Metalldrähte ist aber von der Temperatur abhängig. Es ist dies die Folge der remanenten Drillung mit welcher sie die Öse verlassen, also für jedes Drahtstück verschieden. Diese Abhängigkeit ist eine sehr complizierte, die Verrückung der Gleichgewichtslage ist nämlich nicht allein von der Temperaturveränderung sondern auch von ihrem zeitlichen Verlaufe abhängig. Bei so kleinen und langsamen Temperaturveränderungen aber, wie jene bei welchen die hier behandelten Beobachtungen angestellt wurden, wo sie im Verlaufe eines Tages einige Zehntel Grade nicht überstiegen, kann diese Verschiebung der Gleichgewichtslage mit Hülfe eines für jeden Draht individuellen Temperaturcoefficienten befriedigend dargestellt werden. Für den Draht des von uns benützten einfachen Schwerevariometers, ist dieser Coefficient $\frac{\partial n}{\partial t} = 0,4$, wenn n die Skalenablesung der Gleichgewichtslage, t die Temperatur (Celsius) bedeutet,

Kézirat p. 43/38

für die Drähte des zweiten benützten Instrumentes ist derselbe noch viel kleiner.

Dieses zweite Instrument war ein doppeltes Schwerevariometer so benannt von Eötvös, weil es aus zweien parallel nebeneinander verbundenen Drehwaagen besteht, die auf gemeinsamen Gestelle um dieselbe Achse gedreht werden können. Diese zwei einzelnen Drehwaagen sind von derselben Art wie die des einfachen Schwerevariometers, ihre Balken sind nahezu parallel aber so gerichtet, dass die hängenden Gewichte (M_a) an ihren entgegengesetzten Enden liegen. Wenn also das hängende Gewicht des einen Balkens nach Norden gerichtet ist, zeigt das hängende Gewicht des anderen Balkens nach Süden, u.s.w.

Kézirat p. 44/39

Soweit folgten wir den Anweisungen von Eötvös, im Verlaufe der Beobachtungen ist es uns aber gelungen durch ein einfaches Mittel, die Instrumente zum vielen leistungsfähiger zu machen. Da nach unserem Beobachtungsverfahren die Gleichgewichtslage des Balkens im Gleichgewichte selbst also dann abgelesen wird, wenn schon Ruhe eingetreten ist, so erfordert die Bestimmung je einer durch Drehung bewirkten neuen Gleichgewichtslage einen Zeitaufwand welcher von dem der Balkenbewegung entgegen wirkenden Widerstande abhängig ist. Das Zeitintervall zwischen den Ablesungen zweier aufeinanderfolgenden Einstellungen konnte so ursprünglich nicht kleiner als zu zwei, in manchen Fällen gar nicht kleiner als zu drei Stunden festgesetzt werden. Einfache Rechnungen, deren Ausführung hier kaum am Platze wäre, zeigten uns aber dass dieses

Kézirat p. 45/40

Zeitintervall zuversichtlich auf eine Stunde reduziert werden kann, wenn der gegen die Bewegung des Balkens wirkende Widerstand nahezu gleich dem kleinsten Widerstande gemacht wird, welcher die Bewegung zu einer aperiodischen gestaltet. Diese erwünschte Vergrößerung des Widerstandes wurde durch das Einlegen von Messingplatten entsprechender Dicke am Boden und an den Decken des inneren Gehäuses erzielt. Die innere Lichte dieses Gehäuses wurde so auf etwa 9 m.m. reduziert. Nachdem wir diese

Platten angebracht hatten, konnten wir dann in gleicher Zeit zwei-, dreimal soviel verrichten als vorher.

Beobachtungen mit so heiklichen Instrumenten sollten in erschütterungsfreien Localen ausgeführt werden die auch von Temperaturveränderungen

Kézirat p. 46/41

und namentlich den Wirkungen einseitiger Bestrahlung möglichst geschützt sind. Kellerlocale ohne Fensteröffnungen würden dieser Bedingung am besten entsprechen. Leider standen uns keine solchen zu Gebote. Die Zeit drängte und so mussten wir uns mit einem Beobachtungslocale begnügen, welches im ersten Flure des uns zu Gebote stehenden Laboratoriums lag und zwei nach Süden gerichtete Fenster hatte. Gegenüber stehende höhere Gebäude warfen aber auf diese Fenster während den grösseren Theile des Tages ihren Schatten, auch werden die durch Rollvorhänge versperrt und so das Zimmer stets finster gehalten. Zum vollständigeren Schutze wurde noch in dem Zimmerraum für jedes Instrument ein eigenes Häuschen erbaut dessen Wände aus je zwei in Rahmen gespannten starken Leinwandstücken bestehen, die im Zwischen-

Kézirat p. 47/42

raume mit feinem Sägespänen gefüllt, und gesteppten Bettdecken ähnlich abgenäht sind.

Da der Raum in dem wir beobachteten abseits vom Strassenverkehre lag, hatten wir zu Anfange keine Ursache wegen stärkeren Erschütterungen besorgt zu sein, leider verschlimmerten sich aber die Verhältnisse durch ein Neubau der in unmittelbarer Nähe während der Beobachtungen in Angriff genommen wurde. Wohl zeigen die Beobachtungsergebnisse keine bedeutenderen Einflüsse dieser Störungen, doch sind wir dessen wohl bewusst, dass die Beobachtungen die wir hier mittheilen nicht unter den günstigsten Verhältnissen ausgeführt und auch nicht die

Kézirat p. 48/43

besten sind die wir mit unseren Instrumenten erzielen zu können glauben. Doch: "Ars longa, vita brevis" – wir müssen uns begnügen, einen Schritt nach vorwärts getan zu haben.

Die Betrachtungen des vorangehenden Abschnittes, welche als theoretische Grundlage der auszuführenden Versuche dienen sollen, setzen voraus, dass das Drehwaagengehänge keinen anderen Einwirkungen unterworfen sei als jenen der Trägheit und gravitationellen Anziehung ausser der Drehwaage gelegenen Massen einerseits, der Torsion entgegenwirkenden elastischen Kraft des Drahtes andererseits.

Ein solch vollkommener Ausschluss aller anderen Wirkungen, dem die Kenntnis der gesamten Naturkräfte vorangehen müsste

Kézirat p. 49/44

ist wohl dem Menschen unerreichbar, doch sollen wenigstens jene störende Einwirkungen nach Möglichkeit vermeiden werden, die uns bis zu einem gewissen Grade bekannt sind.

Die hauptsächlichsten dieser Einwirkungen wollen wir der Reihe nach anführen und auch jene angeben, wie wir sie für unsere Beobachtungen unschädlich machten.

Magnetische Kräfte, insbesondere die erdmagnetische Kraft, müssen sich fühlbar machen wenn das Gehänge remanent magnetische Theile enthält. Ein Theilchen von nur $\frac{1}{1000}$ C.G.S. magnetischem Momente, wie etwa ein Splitter eines guten Stahlmagneten von nicht mehr als $\frac{1}{50}$ milligram Gewicht könnte beim Umdrehen der Drehwaage störende Verschiebungen von 2 ganzen Skalentheilen verursachen. Durch sorgfältige Wahl der Stücke aus denen das Gehänge zusammengefügt wird ist es

Kézirat p. 50/45

wohl möglich ein solches Gehänge zu erhalten, welches trotz dieser grossen Empfindlichkeit als unmagnetisch gelten kann, doch muss namentlich bei unseren Versuchen, wo die hängenden Theile wiederholt durch neue vertauscht wurden, diesem Übelstande auch noch auf andere Weise vorgebeugt werden. Wir compensierten deshalb die horizontale Componente der erdmagnetischen Kraft derart, dass im Raume jedes Instrumentes H nahezu gleich Null gemacht wurde, wozu permanente Magnete und Elektromagnete dienten. Diese compensierenden Magnete mussten aber in grösserer Entfernung (etwa 1,4 Meter) und so aufgestellt werden, dass sie auch keine merkbare translatorischen Kräfte ausüben auf jenen temporären induzierten Magnetismus des Gehänges den hauptsächlich die Vertikalcomponente der erdmagnetischen Kraft erzeugt. Bei so weitgehender Kenntnis der Kraft, wie die der magnetischen Kraft, war es ein leichtes ihre Störungen zu vermeiden.¹⁰

Kézirat p. 51/46

Dasselbe können wir behaupten auch bezüglich der elektrostatischen Wirkungen äusserer Körper, deren Einfluss auf unsere Waage durch die dreifache Metallhülse des Gehäuses als vollständig aufgehoben betrachtet werden darf.

Zu berücksichtigen haben wir dagegen die elektrostatischen Kräfte zwischen dem Gehänge und dem ihn umschliessenden Gehäuse die ja nicht aus gleichem Materiale bestehen. Wenn die Oberfläche der einzelnen Theile des Gehänges und die umgebenden Wände des Gehäuses verschiedene elektrische Ladungen besitzen, so entstehen elektrostatische Kräfte, die in einer symmetrischen Mittelstellung wohl gleich Null sein können, aber bei jeder Abweichung von einer solchen fühlbar werden. Diese Kräfte müssen sich demnach besonders in der Weise zu erkennen geben, dass sie die Empfindlichkeit des Instrumentes beeinflussen, also bedingen dass das gegen die Schwerkraft wirkende Drehungsmoment $\tau\vartheta$ ein anderes $\tau'\vartheta$ wird.

Kézirat p. 52/47

Um diesen verschiedenen elektrischen Ladungen verschieden gearteter Oberflächentheile vorzubeugen, versahen wir sie alle mit einem gleichmässigen Russ-Überzuge, zu dessen Wahl uns weiter anzuführende Gründe veranlassten.

Auch haben wir ein Beobachtungsverfahren eronnen, dessen Resultate von kleinen Verschiedenheiten der Grösse τ' unbeeinflusst bleiben.

Die direkten Einwirkungen der Bestrahlung durch äussere Körper sind uns nicht zur genüge bekannt. Die mehrfache Metallwand des Gehäuses dient aber dazu den Einfluss dieser unbekannten auf ein Minimum zu reduzieren. Auch die Dimensionen der benützten Apparate sind dementsprechend gewählt, und die Benützung kleinerer und leichter Gehäuse versichern da wir ja trachten müssen dass die zu messende mit der Masse proportionale Kraft möglichst gross sei im Verhältnisse zu den mit der Oberfläche proportionalen eventuellen Kräften. Diese Störungen sind bei Benützung unserer

Kézirat p. 53/48

Instrumente gewiss sehr klein, und bis heute in den Zufälligkeiten verborgen, die als Fehler jeder Beobachtungsreihe anhaften.

Wirkungen die von dem Temperaturunterschiede verschiedener Theile des Gehäuses und des Gehänges herrühren. Die äusseren Temperaturänderungen, in deren Gefolge dem Instrumente durch Strahlung und Leitung Wärme zugeführt und ihr abgenommen wird bewirken eine Ungleichheit der Temperatur seiner Theile und der eingeschlossenen Luft. Die mehrfache Metallhülle des Gehäuses dient dazu diese Ungleichheit möglichst klein zu machen; dasgleiche bezweckt auch der Russüberzug sämtlicher inneren Theile von dem

¹⁰ Nehézkes fogalmazás, de a lényeg érthető.

früher Erwähnung geschah. Wenn wir annehmen, dass hierdurch eine Temperaturvertheilung erreicht wird welche um die nach beiden Seiten der durch die Mittellage des Balkens gelegten Verticalebene symmetrisch ist, so wird sich nur die Empfindlichkeit des Instrumentes, also die an Stelle der Torsionsconstante zu setzende Grösse τ' verändern, ganz in

Kézirat p. 54/49

der Weise, wie wir dies die inneren elektrostatischen Kräfte betreffend schon erwähnten. Spuren unsymmetrischer Erwärmungen, die trotz aller Schutzmittel noch bestehen behalten heute noch ihren Charakter des Zufälligen.

Temperaturänderungen des Drahtes können nach dem schon vorher gesagten, wenn sie klein und von langsamer Verlaufe sind, mit einem individuellen Coefficienten mit in Rechnung gezogen werden, oder bei entsprechender Wahl des Beobachtungsverfahrens auch ausser acht gelassen werden.

Erschütterungen sind auch nicht ganz unwirksam. Da nämlich die Gleichgewichtslage des belasteten Drahtendes wegen der remanenten Drillung des Drahtes sich mit der Belastung verändert, so müssen vertikale Stösse einen Ausschlag des Waagebalkens zur Folge haben. Dieser Ausschlag ist aber verschwindend klein bei Erschütterungen wie sie gewöhnlich vom Strassengetriebe herrühren, nur im Falle von Erdbeben erreicht sie bemerkbare, dann aber auch

Kézirat p. 55/50

mehrere Skalentheile betragende Werthe. Im Verlaufe mehrjähriger Beobachtungen mit solchen Instrumenten sind wir auf dieser Weise zur Kenntnis mancher Erdbeben gelangt deren Eintreffen später durch die eingegangenen Seismographischen Berichte bestätigt wurde. Solche Ausnahmefälle, die leicht erkannt werden, sind für die Gesamtheit der Beobachtungen von keinem Belang.

In der Reihe der möglichen Störungen müssen wir endlich auch jener Veränderungen gedenken, welche durch Veränderungen in der Massenvertheilung der Umgebung in den Werten des zweiten Differentialcoefficienten des Schwerepotentials eintreten und besonders für $\partial^2 U / \partial x \partial z$ und $\partial^2 U / \partial y \partial z$, wenn auch nur kleine, doch messbare Werthe erreichen können. Verschiebungen von Gegenständen im Gebäude sind dabei kaum in Betracht zu ziehen, wohl aber das Ansammeln von Wassermassen ausserhalb, wie dies infolge von Regengüssen geschehen kann. Der Einfluss

Kézirat p. 56/51

einer ein Centimeter hohen das Gebäude umgebenden Wasserschicht auf die Gleichgewichtslage unseres Instrumentes berechnet sich auf etwa ein hundertstel eines Skalentheiles. Beobachtungen solcher Veränderungen betreffend sollten systematisch ausgeführt werden, wozu wir bisher keine Zeit fanden. Ein Theil unserer Beobachtungsergebnisse wurde aber auch von diesen möglichen Einflüssen befreit.

Der Gang unserer Beobachtungen und ihrer Berechnung, der auf all diese Umstände Rücksicht zu nehmen hatte, entwickelte und vervollständigte sich während der Ausführung unserer Arbeit. Die Kürze der Zeit erlaubte es uns nicht alles nach dem als besten erkannten, aber auch den grössten Zeitaufwand beanspruchenden Plan auszuführen. Die hier mitgetheilten Resultate sind so nach drei verschiedenen Verfahren gewonnen, die wir als I, II und¹¹

¹¹ Az 57. (felső szám) oldal hiányzik.

Kézirat p. 58/52

wo n die der Gleichgewichtslage entsprechende Skalenablesung n_0 eine Constante und L die in Skalentheilen abgemessene Skalenentfernung bedeutet. So ist dann

$$n_0 - n = \frac{L}{\tau} K \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \right) \sin 2\alpha + \frac{2L}{\tau} K \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial y} \cos 2\alpha - \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} \sin \alpha +$$

13)

$$+ \frac{2L}{\tau} M_a l_a h \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} \cos \alpha + \frac{2L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_b - \kappa_a) \sin \alpha$$

All' unsere Beobachtungen geschahen in vier Stellungen der Drehwaage die wir bezogen auf das Ende a des Balkens, als nördliche, östliche, südliche und westliche mit N , \ddot{O} , S , W und auch die ihnen entsprechenden Skalenablesungen mit n_N , n_O , n_S und n_W bezeichnen wollen. Das Einstellen auf N kann bei bekannter magnetischer Declination am leichtesten mit Hilfe der Bussole geschehen; von dieser Stellung ausgehend

Kézirat p. 59/53

werden dann die anderen durch Drehen des Drehwaagegehäuses um je 90° erreicht. Die Achse des Balkens weist aber in diesen Stellungen nicht genau nach den vier Himmelsrichtungen hin. Ist $\Delta\alpha$ das Azimuth der Balkenachse von Norden nach Osten gezählt in der ursprünglichen N Stellung, so erhalten wir folgende Werte für die den vier Stellungen entsprechenden Azimuthe:

Stellung $N \dots \alpha_N = \Delta\alpha$

Stellung $\ddot{O} \dots \alpha_{\ddot{O}} = \Delta\alpha + \frac{n_N - n_{\ddot{O}}}{2L} + \frac{\pi}{2}$,

Stellung $S \dots \alpha_S = \Delta\alpha + \frac{n_N - n_S}{2L} + \pi$,

Stellung $W \dots \alpha_W = \Delta\alpha + \frac{n_N - n_W}{2L} + 3\frac{\pi}{2}$.

Berücksichtigen wir, dass $\Delta\alpha$ und auch die Grössen $\frac{n_N - n_O}{2L}$ klein sind, so berechnen wir für diese vier Stellungen aus Gleichung 13) die Annäherungswerthe:¹²

Kézirat p. 61/54

Die Grössen welche in diesen Gleichungen als Constanten der Instrumente auftreten sind von uns durch das von Eötvös angegebene Verfahren bestimmt worden. (Abhandlungen der XV. A. Conf. v. Erdmessung).

Für das benützte einfache Schwerevariometer und für die Gehänge I und II des doppelten Schwerevariometers sind die so gefundene Werte in folgender Tabelle zusammengestellt, worin M^* und h^* Durchschnittswerte bezeichnen, die bei den einzelnen Beobachtungen durch genauere ersetzt wurden.

	τ	κ/τ	L	l_a	M_a^*	h^*	$G \sin \varepsilon$
Einfaches Schwerevariometer	0,5035	41896	1232	20	25,4	21,2	1,6858
Doppeltes Schw.V. Gehänge I	0,5073	43081	1258	20	25,4	21,2	1,6858
Doppeltes Schw.V. Gehänge II	0,5116	43849	1258	20	25,8	21,2	1,6858

¹² A 60. oldal (felső szám) hiányzik.

4) Beobachtungen und deren Berechnung nach einem Verfahren (I) dem die Voraussetzung der Constanz der Schwerevariationen und der Empfindlichkeit (τ) zu Grunde liegt.

Benützt wurde ein einzelnes Drehwaagegehänge, also das des einfachen oder nur eines des doppelten Schwerevariometers. Das Ende b blieb stets mit demselben in die Röhre hineingeschobenen Platinstück belastet.

Das Ende a wurde nun in der schon angegebenen Weise mit einem der Untersuchung unterworfenen Körper (etwa mit Platin) belastet, und die Nordstellung des Instrumentes (das Ende a nach Norden) am getheilten Kreise mit Hilfe der Bussole näherungsweise festgestellt. Die zulässige Abweichung, also der Wert von $\Delta\alpha$ darf hierbei die Grösse von einigen Graden erreichen.

Kézirat p. 63/56

Nun wird das Instrument in regelmässigen Zeitintervallen wiederholt zwischen zwei Stellungen umgelegt, die von der annähernd bestimmten Nordstellung um 90 resp. 270 Grade abstehen und als Oststellung und Weststellung bezeichnet werden. Durch Ablesung der Gleichgewichtsstellungen erhalten wir dann

$$v = n_0 - n_w$$

derart, dass der Abstand je einer dieser Stellungen bestimmt wird von dem Mittelwerte der unmittelbar vorangehenden und darauf folgenden entgegengesetzten Stellung. Bei dem einfachen Schwerevariometer sind hierbei die mit dem Temperaturcoefficienten 0,4 reduzierten Werte von n benützt worden.

Ebenso wird dann für denselben Körper (etwa Platin) die Grösse m bestimmt, wozu aber auch wenige Beobachtungen ausreichen, da bei diesem Verfahren die Kenntnis eines nur ange-

Kézirat p. 64/57

näherten Werthes dieser Grösse erfordert wird.

Nachdem diese Beobachtungen mit einem Körper zu Ende geführt, wird an Stelle desselben am Ende a ein anderer (etwa Magnesium) von nahezu gleichem Gewicht gehängt und für denselben v' und m' bestimmt. Da dieses Vertauschen der Körper nur beim arretierten Instrumente erfolgen kann, ist eine kleine Verschiebung der ersten Nordstellung nicht zu vermeiden, so dass für $\Delta\alpha$ zu setzen ist $\Delta\alpha'$. Die Grösse $\Delta\alpha' - \Delta\alpha$ welche als Skalenverschiebung messbar ist erreicht aber kaum die Grösse $\frac{1}{1000}$.

Nehmen wir nun an dass während dieser ganzen bis auf einige Wochen dauernde Beobachtungsreihe die Grösse τ und auch die

Kézirat p. 65/58

zweiten Differentialquotienten des Schwerepotentials constant geblieben sind, so erhalten wir zur Berechnung von $\kappa_a - \kappa'_a$, d.i. dem Unterschiede der Attraktions-coefficienten der beiden Körper (beispielsweise von Platin und Magnesium) der Gleichung 15) entsprechend:

$$v - v' = \frac{4L}{\tau} M_a l_a \frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z} (h - h') + \frac{4L}{\tau} M_a l_a \frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z} (h \Delta\alpha - h' \Delta\alpha') + \frac{4L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a)$$

wobei wir die mit Grössen wie

$$\left\{ \left(\frac{n_0 - n_W}{L} \right) - \left(\frac{n_0 - n_W}{L} \right)' \right\}$$

multiplizierten Glieder als verschwindend kleine vernachlässigten.

Noch weiter lässt sich dieser Ausdruck dadurch vereinfachen, dass wir von den kleinen Grössen zweiter Ordnung absehen; es wird dann

$$16) \quad v - v' = v \frac{h - h'}{h} - m(\Delta\alpha - \Delta\alpha') + \frac{4L}{\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a)$$

also

$$17) \quad \kappa_a - \kappa'_a = \frac{\tau}{4L M_a l_a G \sin \varepsilon} (v - v') + \frac{m(\Delta\alpha - \Delta\alpha') - v \frac{h - h'}{h}}{4L M_a l_a G \sin \varepsilon} \tau$$

Kézirat p. /59 ¹³

5) Beobachtungen und deren Berechnung nach einem zweiten Verfahren (II), welcher bei Constantem Werthe der Schwerevariationen eine langsame und stetige Veränderung der Empfindlichkeit zulässt

Benützt wird, wie beim ersten Verfahren, nur ein Gehänge. Der eine Vergleichskörper wird an das Ende a gehängt. Das Instrument wird in gleichen Zeitintervallen immer um je einen rechten Winkel gedreht und so der Reihe nach in die Stellungen N, O, S, W gebracht; dieses Verfahren wird bis zur Genüge wiederholt.

Wir nehmen nun an, dass sich τ und damit auch m und v wohl mit der Zeit verändern, dass aber diese Veränderung während dem zu wenigstens sechs Einstellungen erforderlichen

Kézirat p. /60

Zeitraume als proportional der Zeit in Rechnung gezogen werden darf. Dann erhalten wir für Stellungen im Meridian die dem Momente ihrer Ablesung entsprechenden Werte von m , als die Differenz dieser Ablesung vom Mittelwerte der Ablesungen in der vorangehenden und der folgenden entgegengesetzten Meridianstellungen. In gleicher Weise ergeben sich die momentanen Werte in den Stellungen der ersten Vertikalen. Die Momentanwerthe von v zur Zeit einer Meridianablesung berechnen wir aber als Mittel des vorangehenden und des folgenden Werthes dieser Grösse. So auch umgekehrt.

Wir berechnen nun das Verhältnis $\frac{v}{m}$ wofür wir aus 14) und 15) mit Vernachlässigung kleiner Grössen zweiter Ordnung erhalten:¹⁴

$$18) \quad \frac{v}{m} = -\frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} + \frac{2K}{\tau} \frac{\frac{\partial^2 U}{\partial x \partial z}}{\frac{\partial^2 U}{\partial y \partial z}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 U}{x^2} \right) - \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) \Delta\alpha - \frac{v^2}{m^2} \frac{m}{4L} -$$

$$-\frac{2n_N - n_O - n_W}{4L} + \frac{4L}{m\tau} M_a l_a G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa_b)$$

¹³ Ettől kezdődően a 8. fejezetig Eötvös nem használt oldalszámozást.

¹⁴ A következő öt számozott egyenlet többé-kevésbé eltér a nyomtatott változattól. Érthető okokból ez utóbbit választottuk.

Kézirat p. /61

Daraufhin wird der Körper bei a durch einen anderen vertauscht und eine neue Reihe von Beobachtungen gibt uns den Werth von $\frac{v'}{m'}$

Zur Berechnung des Werthes $\kappa_a - \kappa'_a$ dient dann die Annäherungsformel:

$$\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} = + \frac{4LM_a l_a G \sin \varepsilon}{m\tau} (\kappa_a - \kappa'_a) - \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta\alpha - \Delta\alpha') \quad 19)$$

woraus

$$\kappa_a - \kappa'_a = \frac{m\tau}{4LM_a l_a G \sin \varepsilon} \left(\frac{v}{m} - \frac{v'}{m'} \right) + \frac{m\tau}{4LM_a l_a G \sin \varepsilon} \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta\alpha - \Delta\alpha'), \quad 20)$$

in dieser Formel sind alle Grössen vernachlässigt, welche zu dem strengen Werthe von $\frac{v}{m}$ weniger als $\frac{1}{1000}$ beitragen.

Az 5. fejezet mérésének részletes leírása hiányzik..

Kézirat p. /62

**6) Beobachtungen und deren Berechnung nach dem dritten Verfahren (III)
welches nicht nur von den stetigen Veränderungen der Empfindlichkeit sondern
auch von Veränderungen der räumlichen Schwerevariationen unabhängige Werthe
liefert.**

Gebraucht wird hierzu ein doppeltes Schwerevariometer, deren Balken nur nahezu parallel sein müssen. Das Azimuth des einen Balkens in der Nordlage sei bei einer ersten Versuchsreihe $\Delta\alpha_{1,I}$, bei einer zweiten $\Delta\alpha_{1,II}$, das des zweiten Balkens bei der ersten Versuchsreihe $\Delta\alpha_{2,I}$ und bei der zweiten Versuchsreihe $\Delta\alpha_{2,II}$, hierbei sollen die Differenzen $(\Delta\alpha_2 - \Delta\alpha_1)$ den Werth von etwa zwei Graden nicht übersteigen, was leicht zu erreichen ist.

Indem die b -Enden beider Balken mit den hineingeschobenen Platinstücken belastet sind, wird eines der Vergleichskörper κ_a am a -Ende des Gehänges I¹⁵, das andere κ'_a am a Ende,¹⁶

Kézirat p. /63

jenes mit dem Coefficienten κ_a aber an den Balken 2. zu hängen komme, so ergibt eine zweite Beobachtungsreihe:

$$\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} = \frac{4LM_a l_a}{m\tau} G \sin \varepsilon (\kappa_a - \kappa'_a) + \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) (\Delta\alpha_{1,II} - \Delta\alpha_{2,II}) \quad 21/b)^{17}$$

und wir erhalten durch Addition:

¹⁵ Jellegzetes elírás: Eötvös egyértelműen az első és második ingát jelöli 1-el ill. 2-vel, a római számok pedig a mérésorozatot jelölik.

¹⁶ A kéziratból 2 oldal hiányzik.

¹⁷ Ezt az egyenletet Eötvös nem számozta, de a fordítás 21/b) egyenletével azonos.

$$22) \quad \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) = \frac{8LM_a l_a G \sin \varepsilon}{m\tau} (\kappa_a - \kappa'_a) +$$

$$\left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) [(\Delta\alpha_{2,I} - \Delta\alpha_{2,II}) - (\Delta\alpha_{1,I} - \Delta\alpha_{1,II})]$$

und

$$23) \quad \kappa_a - \kappa'_a = \frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} \left\{ \left(\frac{v_1}{m_1} - \frac{v'_2}{m'_2} \right) + \left(\frac{v_2}{m_2} - \frac{v'_1}{m'_1} \right) \right\} +$$

$$+ \frac{m\tau}{8LM_a l_a G \sin \varepsilon} \left(\frac{v^2}{m^2} + 1 \right) \{ (\Delta\alpha_{1,I} - \Delta\alpha_{1,II}) - (\Delta\alpha_{2,I} - \Delta\alpha_{2,II}) \}$$

A 6. fejezet méréseinek részletes leírása és a teljes 7. fejezet hiányzik a kéziratból.
Kézirat p. Abs 1./64

8. Über Beobachtungen zur Entscheidung der Frage, ob eine Absorption der Anziehung durch dazwischenliegende Körper stattfindet.

Mit unseren vorangehenden Betrachtungen in engstem Zusammenhange steht die Frage, ob die von einem Körper *A* auf einen anderen *B* ausgeübte Anziehung von einem dritten dazwischen liegenden Körper *C* abhängig sei, insbesondere, ob den Körpern ein Absorptionsvermögen gegen Anziehung zuzuschreiben sei. Denn wäre dieses letztere der Fall, so müssten Körper verschiedener Form und Grösse verschieden von einem anderen angezogen werden, ja es müsste diese Anziehung sogar davon abhängen, wie die verschiedene Theile des angezogenen Körpers gegen den anziehenden gerichtet sind.

Kézirat p. Absorption 2./65

Die vorgelagerten Theile des angezogenen Körpers würden ja dann die Anziehung seiner dahinter gelegenen Theile beeinflussen. In dieser Auffassung können schon die vorher beschriebenen die Anziehung verschiedener Körper betreffenden Beobachtungen als solche betrachtet werden, die zur Entscheidung der hier aufgeworfenen Frage dienen. Doch ist bezüglich derselben auch die Möglichkeit des direkten Versuches nicht ausgeschlossen.

Ich denke dabei nicht an Versuche wie die der Herrn L. W. Austin und C. B. Thering¹⁸ die den Einfluss zu messen trachteten, den das Dazwischenschieben von einigen Centimeter dicken Schichten von Wasser, Blei und Quicksilber

Kézirat p. Absorption 3/66

auf die Stellung eines Drehwaagenbalkens ausübe der durch die Anziehung von weniger Kilogramm schweren Massen abgelenkt war.

Solche Versuche, wenn auch mit grösster Sorgfalt ausgeführt, können kaum zu genaueren Resultaten führen, als die von den genannten Herrn in ihrer im Jahre 1897 erschienen Abhandlung ausgeführt, wonach die Beeinflussung der Anziehung durch diese zwischenliegenden Schichten kleiner als $\frac{1}{500}$ Theil derselben ist. Ein solches Resultat ergibt sich viel einfacher durch die Betrachtung, dass ja die der zu viel grösseren Anziehung der Erde unterworfenen Waage keine messbare Veränderung ihrer Gleichgewichtslage erleidet, wenn unter die eine ihrer belasteten Waageschalen Schichten der

¹⁸ (geodes Fortschritt)?

oben erwähnten Art geschoben werden. Bei gehörigem Schutze könnte mit diesem letzteren Instrumente

Kézirat p. Absorption 4/67

die erreichbare Genauigkeit sogar bis über ein Zehnmillionstel des Gewichtes gesteigert werden. Zu noch um vieles genaueren Resultaten können wir mit der Drehwaage gelangen. Schon im Jahre 1902 haben wir derartige Versuche ausgeführt, und zwar mit dem Instrumente, das Eötvös den Gravitationskompensator benannte¹⁹. Diese Versuche haben wohl nur den Character von Vorversuchen, da wir sie hier dennoch mittheilen, wünschten wir das dieselben auch als solche betrachtet und beurteilt werden. Zur Anführung uns selbst ganz befriedigender Versuche, namentlich zur Herstellung von vollkommeneren Instrumenten mangelte es uns an Zeit.

Das benützte Instrument war ganz ähnlich dem von Eötvös angegebenen so dass wir uns hier nicht eingehend mit der Beschreibung seinen Einzelheiten beschäftigen brauchen.

Kézirat p. Absorption 5/68

Die an beiden Enden eines 50 cm langen Drehwaagenbalkens befestigten Messingkugeln von je 30 gramm Gewicht sind da ausser einem metallenen Schutzrohre noch von den zur Compensation dienenden Vorrichtungen umgeben (siehe Figur).

Jede dieser an den zwei Enden angebrachten Vorrichtungen besteht aus einer das Schutzrohr umgebenden cylindrischen Metallhülse von 5 cm Durchmesser. Diese Metallhülsen tragen je zwei sich gegenüber liegende Cylinderquadranten (Compensationsmassen) aus Bleiguss und ruhen auf den horizontalen Axenlagern, so dass der Neigungswinkel φ ihrer Mittellinie KK zur Horizontalen durch Drehung verändert werden kann. Die Dimensionen dieser Quadranten sind: innerer Radius 2,5 cm, äusserer Radius 12 cm, Dicke, d.h. Abstand der beiden ebenen Begrenzungsflächen 9,5 cm. Die Enden des Balkens, richtiger die daran haftenden Messingkugeln schweben in der Mitte je eines kompensierenden Quadrantenpaares.

Kézirat p. Absorption 6/69

Der Mittelpunkt P der Kugeln am Balkenende sollte bei vollkommen eingestelltem Instrumente in die Drehungsaxe C der Compensatoren zu liegen kommen. Da aber diese Vollkommenheit nicht erreicht werden kann, haben wir in unserer Figur P und C als voneinander abgehend dargestellt, und so werden wir auch die Koordinaten von P , bezogen auf ein durch C gelegtes System X, Z durch ξ und ζ bezeichnen.

Kézirat p. Absorption 7/70

In dem gegenwärtigen Falle wurde dieses Instrument stets so benützt, dass die beiden Compensatoren zu dem von ihnen umschlossenen Balkenende die gleiche Lage hatten. Stellt die Figur den Querschnitt des Compensators und der darin schwebenden Kugel dar, wie er einem Beobachter erscheint, der vor dem einen Ende stehend nach der Drehungsachse schaut, so stellt sie auch das gleiche dar bezüglich auf das andere Ende des Balkens und den anderen Theil des Compensators für ein Beobachter, der dieses andere Ende ebenfalls der Drehungsachse zugekehrt betrachtet. Die Drehungen der beiden Compensatorenthteile geschahen dementsprechend auch immer um gleiche Winkel.

In diesem Falle kann das durch die Anziehung der Compensatoren auf den mit Kugeln

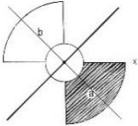
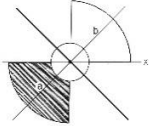
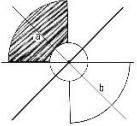
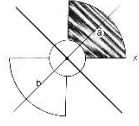
Kézirat p. Absorption 8./71

belasteten Balken in folgender Form ausgedrückt werden:

$$F = A\xi + B\cos\varphi + \xi C\cos 2\varphi + \zeta D\sin 2\varphi.$$

¹⁹ Untersuchungen über Grav. und Erdmagn. Wiedemans Annalen 120 59.

Bei den in Frage stehenden Untersuchungen wurden nun die Compensatoren in vier um je einen rechten Winkel abstehende Stellungen gebracht. Diese Stellungen sind in der unten folgenden Zeichnung schematisch dargestellt und die ihnen entsprechenden Werthe von φ und F darunter geschrieben.

Stellung I	Stellung II	Stellung III	Stellung IV
			
$\varphi_1 = 45^\circ$	$\varphi_2 = 135^\circ$	$\varphi_3 = 225^\circ$	$\varphi_4 = 315^\circ$
$F_1 = A\xi_1 + B\cos\frac{\pi}{4} + \zeta D$	$F_2 = A\xi_2 - B\cos\frac{\pi}{4} - \zeta D$	$F_3 = A\xi_3 - B\cos\frac{\pi}{4} + \zeta D$	$F_4 = A\xi_4 + B\cos\frac{\pi}{4} - \zeta D$

Nehmen wir an, dass die Anziehung der Erdmassen

Kézirat p. Absorption 9/72

auf die Massen unserer Drehwaage durch die dazwischen liegenden Compensatormassen einer Absorption ähnlich beeinflusst werden, so addiert sich zu diesem Drehungsmoment F noch ein anderes Φ welches je nach der eingenommenen Stellung der Compensatoren nach vorwärts oder nach rückwärts gerichtet ist.

Denken wir uns nämlich die Erde durch eine die Balkenachse enthaltende Verticalebene in zwei Hälften getheilt, so wirkt die Anziehung der einen (zu der Stellung I linkseitigen Hälfte) (siehe Figur) durch die Compensatoren, der anderen (rechtseitige) aber ohne diese durch zu dringen. Jede dieser Hälften erzeugt eine horizontale Anziehungskomponente, deren Grösse

Kézirat p. Absorption 10/73

auf die Masseneinheit bezogen, ohne Berücksichtigung einer möglichen Absorption gleich $\frac{G}{\pi}$ und nach der Seite gerichtet ist, wo die anziehende Halberde liegt. Findet aber Absorption statt, so ist die von ihr beeinflusste Anziehung einer Erdhälfte

$$= \frac{G}{\pi} (1 - \mu)$$

zu setzen, wo μ vom Absorptionsvermögen des dazwischenliegenden Körpers, ferner von seiner Form, seiner Grösse und Lage abhängig ist.

Die Wirkung beider Erdhälften zusammen ergibt so eine horizontale Kraftkomponente, die nach jener Seite gerichtet ist, wo die Absorption geringer ist. Wenn wir mit m die Masse je einer Kugel am Drehwaagebalken und mit l ihren Drehungshalbmesser bezeichnen, so sind die aus der einseitigen Absorption entstehenden Drehungsmomente in den mit I, II, III und IV bezeichneten Compensatorstellungen:

Kézirat p. Absorption 11/74

Stellung I	Stellung II	Stellung III	Stellung IV
$\Phi_1 = -2ml\frac{G}{\pi}\mu$	$\Phi_2 = +2ml\frac{G}{\pi}\mu$	$\Phi_3 = -2ml\frac{G}{\pi}\mu$	$\Phi_4 = +2ml\frac{G}{\pi}\mu$

Das Gleichgewicht des Drehwaagebalkens denken wir uns nun hervorgebracht von der Summe der Drehungsmomente F und Φ einerseits, von dem gegen die Torsion wirkenden Drehungsmomente anderseits. Dieses letztere drücken wir in der Form:

$$\tau\vartheta_0 + \tau\vartheta$$

aus, wo ϑ_0 den Torsionswinkel bei einer Lage des Balkens bedeutet, bei welcher $\xi = 0$ ist und $\vartheta_0 + \vartheta$ den ganzen Torsionswinkel darstellt. Setzen wir noch

$$\xi = l\vartheta$$

so erhalten wir als Bedingungen des Gleichgewichtes in den vier Stellungen I-IV:

Kézirat p. Absorpt. 12/75

$$\tau\vartheta_0 + \tau\vartheta_1 = Al\vartheta_1 + B\cos\frac{\pi}{4} + \zeta D - 2ml\frac{G}{\pi}\mu,$$

$$\tau\vartheta_0 + \tau\vartheta_2 = Al\vartheta_2 - B\cos\frac{\pi}{4} - \zeta D + 2ml\frac{G}{\pi}\mu,$$

$$\tau\vartheta_0 + \tau\vartheta_3 = Al\vartheta_3 - B\cos\frac{\pi}{4} + \zeta D - 2ml\frac{G}{\pi}\mu,$$

$$\tau\vartheta_0 + \tau\vartheta_4 = Al\vartheta_4 + B\cos\frac{\pi}{4} - \zeta D + 2ml\frac{G}{\pi}\mu,$$

Wird von der Summe der ersten und dritten dieser Gleichungen die Summe der zweiten und vierten abgezogen, so erhält man:

$$(\tau - Al)(\vartheta_1 + \vartheta_3 - \vartheta_2 - \vartheta_4) = 4\zeta D - 8ml\frac{G}{\pi}\mu.$$

Bei der Beobachtung mit Spiegel und Skala bezeichnen wir mit n die Skalenablesung und mit L die in Skalentheilen abgemessene Entfernung der Skala vom Spiegel, es ist also:

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = \frac{8LD\zeta}{\tau - Al} - \frac{16Lml}{\tau - Al}\frac{G}{\pi}\mu.$$

Zur Berechnung unserer nachfolgenden Beobachtungen, wurde nun dem benutzten Apparate entsprechend, als Resultat hier genügend angenäherte Abmessungen gesetzt:

Kézirat p. Absorp 13/76

$$L = 1315 \text{ Skalentheile, } m = 30 \text{ g, } l = 25 \text{ C, } l = 25 \text{ C, } G = 982 \text{ C.S,} \\ \tau - Al = 0,103 \text{ C.G.S}$$

Letztere Grösse wurde durch Ablenkungsversuche am Compensatorbalken bestimmt. Mit diesen Werthen wird:

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = \frac{8LD}{\tau - Al}\zeta - 47890 \cdot 10^6\mu.$$

Der Faktor ζ lässt sich aus den Dimensionen des Apparates unschwer berechnen, wir haben aber deren Grösse auch in der Weise durch Beobachtungen bestimmt, dass wir zwei Werthe der Grösse $(n_1 + n_3 - n_2 - n_4)$ feststellten, die verschiedenen Werten von ζ entsprachen. Es ist ja dann:

$$(n'_1 + n'_3 - n'_2 - n'_4) - (n_1 + n_3 - n_2 - n_4) = \frac{8LD}{\tau - Al}(\zeta' - \zeta).$$

Eine solche Veränderung des Werthes von ζ kann

Kézirat p. Absorp 14/77

durch ein Senken oder Heben der auf Fusschrauben stehenden Compensatoren leicht bewerkstelligt und gemessen werden. Aus solchen Versuchen erhielten wir, wenn ζ in Centimetern abgemessen wird

$$\frac{8LD}{\tau - Al} = 608,$$

so dass

$$n_1 + n_3 - n_2 - n_4 = 608\zeta - 47890 \cdot 10^6\mu$$

und

$$\mu = \frac{n_2 + n_4 - n_1 - n_3}{47890 \cdot 10^6} + \frac{608\zeta}{47890 \cdot 10^6}.$$

Die Zahlenwerte dieser Formel legen wohl ein Zeugnis dafür ab, wie gross die bei der Bestimmung von μ erreichbare Genauigkeit sei, weisen aber auch auf die Schwierigkeiten hin die dabei überwunden werden müssen. Diese bestehen nicht nur bezüglich des Schutzes von störenden Einflüssen, welche bei so grosser Genauigkeit doppelt in die Waagschale fallen, sondern

Kézirat p. Abs. 15/78

besonders auch darin, dass der Einfluss des mit ζ multiplizierten Gliedes möglichst vermieden, oder sicher festgestellt werden muss.

Bei unseren Versuchen bot die feste Aufstellung des Apparates in einem gleichmässig temperierten Kellerraume gehörigen Schutz, und mit Hilfe von Kathetometern gelang es uns auch die Compensatoren so zu stellen, dass ζ nicht mehr als etwa $\frac{1}{500}$ C. von Null verschieden war. Unter solchen Umständen haben wir schon vor mehreren Jahren drei Versuchsreihen ausgeführt, deren Ablesungen in folgender kleinen Tabelle zusammengestellt sind:

		Ablesungen		
		17 April	20 April	23 April
Stellung I	n_1	246,2	264,0	266,2
Stellung II	n_2	247,4	264,6	268,0
Stellung III	n_3	246,3	263,8	267,1
Stellung IV	n_4	246,0	262,5	266,6
Stellung I	n_1	246,0	263,9	265,9

Kézirat p. Abs. 16/79

Hieraus berechnen wir mit Weglassung des mit ζ proportionalen Gliedes

Aus den Beobachtungen von 17 April $\mu = + \frac{1}{47890 \cdot 10^6} \cdot 1,0$

Aus den Beobachtungen von 20 April $\mu = - \frac{1}{47890 \cdot 10^6} \cdot 0,6$

Aus den Beobachtungen von 23 April $\mu = + \frac{1}{47890 \cdot 10^6} \cdot 1,4$

Bedenken wir, dass eine fehlerhafte Einstellung bezüglich des ζ von nur $\frac{1}{50}$ mm = $\frac{1}{500}$ cm einen die Einheit etwas übersteigenden Fehler in diesem Werthe bedingen würde, so sind wir berechtigt, die von Null um etwa eine Einheit abweichenden verschiedenen Werthe von μ dieser Unvollkommenheit zuzuschreiben. Soweit es auf Grund weniger Versuche erlaubt ist, können wir also behaupten, dass μ , das ist die Schwächung der Erdanziehung durch den dazwischen liegenden Compensatorquadranten, kleiner als ihr fünfzigtausend Millionstel war.

Kézirat p. 17/12 (áthelyezett oldal)

Versuche, wie die beschriebenen, sollten mehrfach wiederholt werden, um an Beweiskraft zu gewinnen, auch sollte ihre Genauigkeit möglichst gesteigert werden, was besonders durch eine derartige Dimensionierung des Apparates erreicht werden kann, die uns von dem Einflusse des mit ζ proportionalen Gliedes befreit. Die Compensatormassen müssten in grösserer Entfernung vom Balken kommen.

Leider fanden Verfasser hierzu keine Zeit. Betrachten wir nun die Bedeutung des bezüglich μ erzielten Resultates. Wir glauben uns der Mühe einer genauen Berechnung dieser Grösse unter der Vorausschickung einer der durchstrahlten Strecke proportionalen Absorption hier entziehen zu dürfen, handelt es sich ja doch nur um Feststellung eines minimalen Grenzwertes. Wohl sind wir aber berechtigt, zu behaupten, dass die

Kézirat p. Abs. 18/80

durchschnittliche Länge jener Theile der von den Punkten der einen Erdhälfte zur angezogenen Kugel führenden Geraden, welche in die Masse des Compensators fallen nicht unter 5 Centimeter ist. Wir können also behaupten, dass die Anziehung der Erde beim Durchgang durch eine Bleischicht von 5 cm Dicke keine Absorption erleidet welche ein fünfzigtausend Millionstel derselben erreicht. Für eine Bleischicht von 1 Meter Dicke würde diese untere Grenze ein zweitausendfünfhundert Millionstel betragen, und für die Absorption längs eines ganzen Erddurchmessers etwa ein vierhundertstel. Nehmen wir aber an dass die Absorption mit der durchlaufenen Masse proportional wäre, so müsste unseren Versuchen entsprechend die Absorption der ganzen Erde längs eines Durchmessers derselben weniger als etwa ein Achthundertstel betragen.

Beobachtungen der Ebbe und Fluth und der

Kézirat p. Abs. 19/81

sie erzeugenden Kräfte lassen aber diesen minimalen Grenzwert einer eventuellen Absorption der Anziehung durch den Erdkörper noch um vieles kleiner erscheinen.

In einfachster Weise können wir uns hiervon überzeugen, wenn wir die der Anziehung von Sonne oder Mond entsprechenden verticalen Kräfte in zwei Punkten auf der Erde betrachten, für welche die Zenithdistanz jener Himmelskörper $\zeta = 0$ und $\zeta = \pi$ ist.

Statt

$$-Z = 2f \frac{M a}{D^2 D}$$

wie im Falle dass überhaupt keine Absorption stattfindet ist, wenn eine solche vorhanden, zu setzen:

$$-Z = 2f \frac{M a}{D^2 D} + \mu f \frac{M}{D^2};$$

oder

$$-Z = 2f \frac{M a}{D^2 D} \left(1 + \mu f \frac{D}{2a}\right),$$

Kézirat p. Abs 20/82

wo μ die Grösse jenes Theiles der Anziehung bedeutet, der von der Erdmasse längs der Strecke eines Erdhalbmessers absorbiert wird.

Für die durch die Sonne erzeugte Fluth haben wir also zu setzen:

$$-Z = 2f \frac{M a}{D^2 D} (1 + 11800\mu),$$

für die Mondfluth aber:

$$-Z' = 2f \frac{M a}{D^2 D} (1 + 30,14\mu).$$

Würde μ den durch unsere Drehwaagenbeobachtungen festgestellten Grenzwert von $\frac{1}{1600}$ erreichen, dann wäre für die Sonne:

$$-Z = 2f \frac{M a}{D^2 D} (1 + 7,4),$$

für den Mond aber

$$-Z' = 2f \frac{M' a}{D'^2 D'} (1 + 0,02).$$

Die Sonnenflut müsste in diesem Falle auf etwa ihr Achtfaches vergrößert werden, während die Mondfluth kaum merklich verändert würde.

Kézirat p. Abs 21/17 (ide áthelyezve.)

Schon die rohesten Beobachtungen der Flutherscheinung widersprechen einer solchen Annahme. Wohl aber kann daran gedacht werden durch Beobachtung der flutherzeugenden Kräfte den Werth von μ zu ermitteln, oder wenigstens die untere Grenze genauer zu bestimmen, die diesen Wert nicht übersteigen kann.

Das Verhältniß der flutherzeugenden Kraft der Sonne zu der des Mondes ist nämlich entsprechend den vorangehenden Betrachtungen:

$$\frac{Z}{Z'} = \frac{Z_0}{Z'_0} (1 + 11770\mu)$$

wo $\frac{Z_0}{Z'_0}$ jenen theoretischen Werth dieses Verhältnisses darstellt, den wir unter der Annahme $\mu = 0$ erhalten.

Nehmen wir an, wozu wir wohl berechtigt sind, dass die langjährige Beobachtungen der Flutherscheinungen uns

Kézirat p. Abs 22/18 (misplaced page, relocated here.)

wenn nicht zu mehr, doch wenigstens zur Behauptung berechtigen, das die Höhe der Sonnenfluthen jene der Mondfluthen nicht übersteigt, so haben wir hiermit auch den Beweis dafür geliefert dass die Anziehung der Sonne längs eines Erdhalbkreises weniger als ihren zehntausendstel Theil einbüsst. Zu diesem Resultat gelangen wir mit Hilfe unserer letzten Formel in dem wir in ihr $\frac{Z}{Z'} = 1$ und $\frac{Z_0}{Z'_0} = \frac{1}{2,2}$ setzen.

Genauere Resultate dieser Art sind wohl von Beobachtungen der flutherzeugenden Kraft selbst zu erwarten.

Solche stehen uns schon heute zur Verfügung. Vor uns liegt das vor kurzen erschienene schöne Werk von O. Hecker "Beobachtungen an Horizontalpendeln etc." (Veröffentlichung der K. Preuss. Geodäischen Institutes Neue Folge N° 32. 1907) reich an Beobachtungen, reich in aus ihnen abgeleiteten

Kézirat p. Abs 23/20 (áthelyezett oldal.)

hochinteressanten Schlussfolgerungen.

Die Beobachtungen geschahen an zwei Horizontalpendeln, ihr Endresultat ist auf Seite 31 und Seite 32 der Abhandlung in folgenden Formeln zusammengestellt:

Pendel I	berechnete Mondanziehung:	$0,00922'' \cos(2t - 305^\circ 5)$
	beobachtete Mondwelle:	$0,00622'' \cos(2t - 285^\circ 4)$
Pendel II	berechnete Mondanziehung:	$0,00900'' \cos(2t - 48^\circ 7)$
	beobachtete Mondwelle:	$0,00543'' \cos(2t - 63^\circ 2)$
Pendel I	berechnete Sonnenanziehung:	$0,00399'' \cos(2t - 305^\circ 5)$
	beobachtete Sonnenwelle:	$0,00244'' \cos(2t - 273^\circ 6)$
Pendel II	berechnete Sonnenanziehung:	$0,00389'' \cos(2t - 48^\circ 7)$
	beobachtete Sonnenwelle:	$0,00585'' \cos(2t - 48^\circ 3)$

Wir wollen uns hier nicht näher mit der befriedigenden Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Phasen beschäftigen, uns interessiert mehr das Verhältniß der Amplituden für Sonne und Mond. Diese Amplituden mit A_s und A_m bezeichnend erhalten wir

A kézirat "Abs" része itt hirtelen megszakad.

Kézirat p. Ra. 1/83

9. Einige Versuche mit radioaktiven Substanzen.

Die Untersuchung radioaktiver Substanzen haben wir nach zwei Richtungen ausgeführt, erstens bezüglich des Verhältnisses ihrer Masse zu der auf sie ausgeübten Erdanziehung, zweitens die Frage betreffend ob sie auf diese Anziehung absorbierend wirken oder selbst eine spezifische Anziehung oder Abstossung bewirken.

a) Beobachtungen das Verhältniss von Masse und Anziehung betreffend

Die Versuche führten wir mit einem Radiumpräparate aus, das aus dem Curie-schen Laboratorium stammend, uns von Herrn Dr. Sz. zuvorkommenst zur Verfügung gestellt wurde. Das Gesamtgewicht des in einem Glasröhrchen eingeschlossenen Präparates war 0,200 Gramm, nach Angabe des Herrn Dr. Sz. 0,100 Gr reines RaBr_2 enthaltend mit einer Aktivität

Kézirat p. Ra. 2/84

gleich dem 1500000 fachen des metallischen Uraniums. Leider stand uns dieses Präparat nur auf kurze Zeit zur Verfügung und zwar am Beginne dieser Arbeit, weshalb wir auch unsere Beobachtungen nur nach dem I-ten Verfahren ausführen konnten.

Das Radium enthaltende Glasröhrchen wurde in der Mitte einer verschlossenen Messingröhre sorgfältig befestigt und in dieser auf das Balkenende gehängt, dann wurden die Beobachtungen in derselben Weise ausgeführt wie dies mit dem Magnalium und dem Holze geschah.

Dabei hatten wir aber zu berücksichtigen, dass die hängende Masse M_a nicht homogen war, und nur etwa ihr $\frac{1}{250}$ tel Teil aus RaBr_2 bestand.

Die directe Bestimmung bezog sich so auf einen mittleren Attractionskoeffizienten κ_a der ganzen Masse M_a zu dem der Attractionskoeffizient κ_{Ra} des Radiumbromids nur mit der Masse von $\frac{1}{250} M_a$ ihren Beitrag leistet.

A fejezet további része hiányzik a kéziratból.

Kézirat p. b) 1/85

b) Beobachtungen eine spezifische mechanische Wirkung von Radiumpräparaten betreffend.

Wir wollen hier noch über einige Versuche Bericht erstatten, die wir vor einigen Jahren (1904) mit der Absicht anstellten, eventuelle mechanische Wirkungen der Radiumpräparate auf den Drehwaagebalken zu entdecken. Die Untersuchungen führten uns in das von Herrn Robert Geigel in seiner Abhandlung "Über Absorption von Gravitationsenergie durch radioaktive Substanz"²⁰ betretene Gebiet. Nach den bald erfolgten Bemerkungen des Herrn W. Kaufmann zu der Arbeit des Hrn. R. Geigel²¹ schien uns damals die Veröffentlichung noch weiterer Bemerkungen überflüssig zu sein, doch glauben wir dass unsere Versuche im Rahmen dieser Abhandlung der Aufzählung Werth sind.

Kézirat p. b.2/86

²⁰ Annalen der Physik 1903, IV Folge 10. 429. old.

²¹ Ugyanott, 894. old.

Bei den Versuchen wurden 10 mgr eines Radiumpräparates benützt welches wir von der Societe Centrale des Produits, Cliniques aus Paris erhielten. Die Aktivität dieses Präparates war etwa die 1000000fache des metall. Uraniums.

Das Radiumpräparat war in einem Glasröhrchen von 4,5 c. Länge und 0,5 c. äusserem Durchmesser und 0,66 gr. Gewicht eingeschlossen.

Versuch Num. 1.

Nach Ablesung der Gleichgewichtslage unseres Instrumentes, des Schwerevariometers wurde das Radium enthaltende Röhrchen innerhalb des Drehwaagengehäuses gebracht und dort auf einer leichten Drahtgrippe so aufgestellt, dass dieses Röhrchen am Ende *b* des Balkens parallel dem dort eingeschobenen Platincylinder mit demselben in gleiche Höhe zu liegen kam.

Die gegenseitige Lage von Platincylinder und Röhrchen ist in horizontaler und verticaler Projection durch unsere Zeichnungen dargestellt.

Das Radiumröhrchen wurde einmal auf die eine, dann auf die entgegengesetzte

Kézirat p. b.3/87

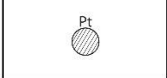
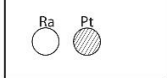
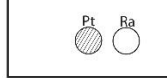
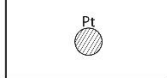
Seite des schwebenden Platincylinders gestellt und jedesmal ihre Gleichgewichtslage (*n*) bestimmt. Die Entfernung *H* zwischen Platincylinder und Röhrchen konnte mit Hilfe der Ablesung jenes Skalentheiles *n_z* berechnet werden bei welcher der noch schwingende Balken von dem Röhrchen zurückgeschlagen wurde. Entsprechend der schon gebrauchten Bezeichnungen ist dann:

$$H = \frac{n_z - n}{2L} l$$

dann für $l = 20 L = 1232$

$$H = 0.0081(n_z - n) \text{ cm} = 0.081(n_z - n) \text{ mm.}$$

Das folgende Schema zeigt den Gang des Versuches vom 2. Februar 1904

			
	$n_z = 257.0$	$n_z = 156.0$	
At 11 h 0 m $n = 206.3$	1 h 26 m $n = 204.8$	3 h 55 m $n = 208.5$	6 h 14 m $n = 206.6$
	1 h 38 m $n = 204.8$	4 h 20 m $n = 208.4$	7 h 15 m $n = 206.7$

In der Entfernung $H = 50 \text{ Skth.} = 4,05 \text{ mm}$ stösst also das Röhrchen R den Platincylinder um 1,8 Skalentheile ab entsprechend einer Kraft *P* deren Grösse sich leicht berechnet aus:

Kézirat p. b.4/88

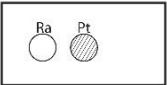
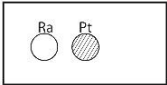
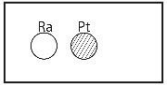
$$\frac{lP}{\tau} = \frac{n' - n}{2L}$$

also:

$$\frac{20P}{0,5} = \frac{1,8}{2464}$$

Abstossungskraft: $P = 0,000018_2$.

Wiederholung des Versuches am 4^{ten} Februar

		
$n_z = 238.0$	$n_z = 158.0$	
12 h 0 m $n = 205.1$	1 h 50 m ... $n = 208.7$	4 h 50 m ... $n = 207.0$
12 h 20 m $n = 205.05$	2 h 40 m ... $n = 208.9$	5 h 8 m ... $n = 207.0$

Also für $H = 40$ Sk.th = 3,2 mm.

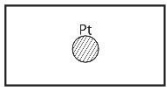
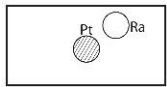
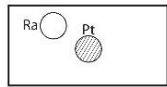
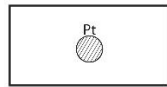
Abstossungskraft: $P = 0,000018_8$.

Das pulverförmige Radiumpräparat lag bei diesen Versuchen längs dem Röhrchen am Boden desselben versträut also um etwa 2mm unter der Achse des Platincylinders.

Versuch Num. 2.

Alles wie bei Versuch Num. 1 mit dem Unterschiede
Kézirat p. b.5/89

dass das Radiumröhrchen um etwa 3 millimeter über den Platincylinder gehoben wurde:

			
6 ^{ten} Febr.	$n_z = 164.0$	$n_z = 246.4$	
At 8 h 37 m $n = 207.6$	9 h 29 m $n = 205.8$	10 h 56 m $n = 210.8$	12 h 30 m $n = 207.6$
	10 h 18 m $n = 205.8$	11 h 57 m $n = 210.9$	

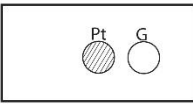
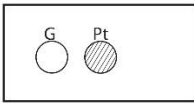
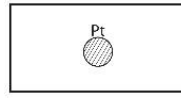
Also bei $H = 41$ Sk.Th = 3,2 mm zieht das Röhrchen den Platincylinder um 2,5 Skalentheile an mit der

Anziehungskraft: $P = 0,000025_3$.

Versuch Nu. 3.

Statt der das Radiumpräparat enthaltende Röhre wurde eine leere Glasröhre (G) gleicher Form und Grösse wie bei Versuch N^o. 1 in das Instrumentengehäuse gebracht.

4 Febr.

		
$n_z = 172.0$	$n_z = 236.0$	
7 h 20 m $n = 207.3$	10 h 35 m ... $n = 207.05$	12 h 0 m ... $n = 207.10$
8 h 10 m $n = 207.3$		

Es zeigten sich nur Spuren einer Abstossung, welche
A következő kéziratoldal hiányzik.

Kézirat p. b)7/90

Um jeden Zweifel in dieser hochwichtigen Frage aufheben zu können haben wir die Wirkung eines Glasröhrchens untersucht, welches nicht nur der Form und der Masse nach gleich dem Radiumröhrchen war, sondern auch wie diese beständig Wärme ausstrahlte. In das Glasröhrchen wurde ein kurzes Stück Platindraht von 0,04 mm Durchmesser mit dem el. Widerstande von 1,41 Ohm eingeschmolzen und dann durch einen Strom von entsprechender Intensität erwärmt.

Voran ging ein sorgfältiger Vergleich der Wärmemengen welche dieses durch den Strom erwärmte Röhrchen und das Radiumröhrchen in gleichen Zeiten ausstrahlten. Ein solcher Vergleich mit Hilfe thermoelektrischer Methoden ausgeführt ergab als Resultat dass unser Radiumpräparat in der Stunde 0,169 Gr. Calorien ausstrahlte,

Itt két kéziratoldal hiányzik.

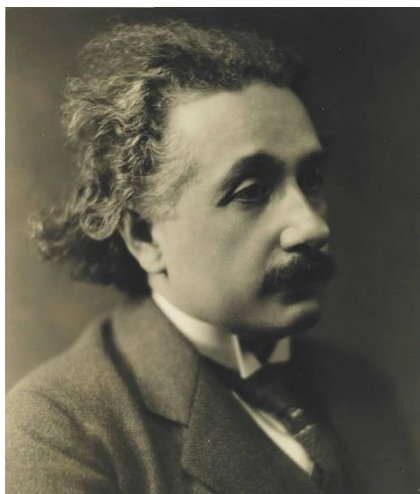
Kézirat p. b)10/91 – a kézirat utolsó oldala.

Abstossungen, die sich in den Versuchen 1 und 2 kundgaben nicht von einer spezifischen mechanischen Wirkung des Radiumpräparates und auch nicht von einer Absorption der Erdanziehung hervorgerufen wurden, sondern lediglich die Folge thermischer Einwirkungen waren, welche hauptsächlich durch Erwärmung der Luft mechanisch thätig werden.

Das benützte Radiumpräparat von etwa 10 milligramm Gewicht übte also auf den Drehwaagebalken in der Entfernung von etwa 4 millimeter gewiss keine spezifische anziehende oder abstossende Kraft aus, die die Grösse einer Einheit von der Ordnung 10^{-6} C.G.S. erreichen würde. Auch konnte keine Spur einer absorbierenden Wirkung der Erdanziehung erkannt werden.

A kézirat itt befejeződik.

AZ EINSTEIN – EÖTVÖS LEVELEZÉS



Hoch verehrten Herrn Kollege!

Durch das Ableben von Herrn Prof. Helmert ist die Stelle des Direktors am Potsdamer geodätischen Institut vakant geworden. Es ergibt sich daraus für die Akademie, die Universität und das Ministerium die verantwortungsvolle Aufgabe, einen Nachfolger zu suchen. Verschiedene Kollegen haben mich nun gebeten, von sachkundiger und nicht interessierter Seite ein Gutachten einzuholen. Es scheint mir, dass Sie, hochgeachteter Herr Kollege, der einzige sind, auf dessen Meinung wir in dieser Angelegenheit Gewicht legen sollen; ich bitte Sie daher, mir Ihren Rat zukommen zu lassen.

Ohne Ihrer Äusserung von Gerüchten vorzueifern zu wollen, bitte ich Sie doch, in Ihrem Schreiben ^{auch} auf das Herein

Schumann (Wien)

Wiechert (Göttingen)

Kudger

Kohlschütter } (Potsdam)

Schneegden

irgendwie zu sprechen zu kommen, weil ~~den~~ die Behörden ~~gelegentlich~~ auf diese Männer bereits aufmerksam gemacht worden sind.

Bemerkungen über die wissenschaftliche Bedeutung jedes der drei letztgenannten Herren wären mir auch in dem Falle erwünscht, dass dieselben neben den beiden erstgenannten für den zu besetzenden Posten nicht in Betracht zu ziehen sind.

Ihrer hochgeschätzten Antwort mit grossem Interesse entgegensehend bin ich mit ausgezeichneter Hochachtung

Ihr ganz ergebener

H. Eiserstein

Herbsterstr. 5

Berlin - Schöneberg.

18. I. 5.

Igen tisztelt Kolléga Úr!

Helmert prof. úr elhalálozása folytán a potsdami Geodéziai Intézet igazgatói állása megüresedett. Ebből az a felelősségteljes feladat hárul az akadémiára, egyetemre és a minisztériumra, hogy helyébe utódot keressen. Különböző kollégák most arra kértek engem, hogy szakmailag avatott és nem érdekelt oldalról szakvéleményt szerezzek be. Nekem úgy tűnik, igen tisztelt Kolléga Úr, hogy ebben az ügyben Ön az egyedüli, akinek a véleményét fontosnak kell tartanunk. Ezért kérem Önt, hogy juttassa el javaslatát hozzánk.

Anélkül, hogy nyilatkozatának a legcsekélyebb mértékben is elébe kívánnánk vágni, kérem Önt, hogy levelében

Schumann (Wien)

Wiechert (Göttingen)

Krüger

Kohlschütter } Potsdam

Schweydar }

urakat is hozza valamiképp szóba, mivel a hatóságok figyelmét már felhívták ezekre a férfiakra.

A három utóbb említett úr tudományos jelentőségére vonatkozó észrevételek abban az esetben is kívánatosak volnának, ha ezek a betöltendő helyre a két elsőnek említett mellett nem jönnek számításba.

Nagyra becsült válaszát nagy érdeklődéssel várva maradok kiváló tisztelettel,

odaadó híve

A. Einstein
Haberlandstr. 5.
Berlin-Schöneberg

1918. január 27.

Dr. A. Einstein professzornak, Berlin

Mélyen tisztelt Kolléga Úr!

Nagy megtiszteltetés és nagy öröm is számomra, hogy Öntől levelet kaptam, ráadásul hogy abban véleménynyilvánításra szólít fel egy olyan fontos kérdésben, mint a potsdami Geodéziai Intézet igazgatói állásának betöltése.

Megválaszolása azonban nem könnyű számomra. Életemet, tudományos életemet is, a nagy forgalomtól távol, mintegy magányos szigeten töltöttem el. Heidelbergben és Königsbergben kapott útravalóval jól ellátva vonultam vissza erre a magányos szigetemre, építettem fel rajta kunyhómat, és berendeztem magamnak otthonosan. Magányosságra hajló természetem folytán csak ritkán hagytam el munkahelyemet, hogy kissé körülnézzek mi történik a szomszédos szigeteken és szárazföldeken. Az ott történt nagyszerű és szép eseményekről jobbára csak írásokból értesültem.

Személyes kapcsolatok tekintetében, amelyeknek a jelenlegi kérdés megítélésénél el nem hanyagolható jelentősége lenne, igen szegény maradtam.

Lehetséges azonban, hogy a megítéléshez éppen ez a személytelenség tűnik az Ön számára előnyösnek, végig gondolván mindezt, úgy döntöttem, hogy véleményemet a tőlem telhető legnagyobb nyitottsággal elmondom.

A geodézia feladata, így a Geodéziai Intézeté is, a szó szigorú értelmében nem más, mint a gravitációs szintfelületek lehető legszabatosabb meghatározása. Mint ilyen, értékes segítséget nyújt a gyakorlati felmérési ismereteknek, a földrajznak és a csillagászatnak. Elvont feladatának megfelelően, ez a tudomány arra törekszik, hogy minden céljától távol álló feltevéstől mentesen, a lehető legnagyobb szabotosságot érje el az észlelésekben és azok eredményeinek kifogástalan feldolgozásában. Ez a legszigorúbb értelemben egzakt tudomány, és annak is kell maradnia mindig.

Nehezen tudom mégis elképzelni, hogy egy geodéta beérje a maga hossz-, szélesség- és magasságmérési számsoraival, és soha ne ragadja magával a tudományos fantázia, hogy kutassa annak okát, miért épp ilyen alakú az általa meghatározott szintfelület, s nem más. Itt a szellemi szem lehatol a föld belsejének elérhetetlen mélységeibe, és felszínre kerülnek olyan kérdések, amelyek a geológia és geofizika körébe tartoznak. Hipotézisek és analógiák szegődnek itt a gondolkodó mellé kíséretül, aki bár gondolatban csábító és sokat mondó vezérfonalat követ, ma a klasszikus geodézia biztonságát távolról sem éri el, és talán nem is fogja elérni soha.

De hárítsa el ezért magától a geodéta az efféle törekvéseket, mint számára terhes álmodozást? Ne építsen sokkal inkább teodolitjával és mérőléceivel alapfalakat, amelyeken kozmikus ismereteinknek megannyi légvára egykor szilárd talajra találhat?

Az ilyen kérdések nem igényelnek hosszas taglalást, hiszen ki kételkedik abban, hogy természettudományunknak ily sokféle szaktudományra való hasadása csak akkor válik jogosulttá, ha a maga erejével és sajátos eszközeivel ezek mindegyike a megismerés közös céljára törekszik, így a geodézia is kész a ráeső részt megadni a Kozmosz felépítéséhez. Egy geodéziai intézet ezért ne legyen geofizikai intézet, nem szabad azzá válnia, fordítsa azonban tevékenységét olyan munkákra, amelyek elősegítik a ma továbblépését a csak a jövőben felfogható geofizika és geológia felé.

És olyan az intézet, amilyen a vezetője!

Ki legyen hát ez a vezető? Ki az, akit joggal választhatnak meg Potsdamba, a Nemzetközi Geodéziai Intézet vezetőjéül?

Boldog Németország! Nem könnyű a választás a sok legalkalmasabb közül, akik felnőttek ehhez a feladathoz.

Ha fontolóra veszem az ügyet, nekem mindenekelőtt *Dr. L. Krüger professzor*, a nagy geodéta ötlik szemembe, aki a geoid alakjával és annak legjobb ábrázolásával foglalkozó, egész Földre kiterjedő vizsgálatait során a fő feladatot, a földmérést, hamisítatlan gaussi lelküllettel előmozdította, és ezzel nagymértékben hozzájárult ahhoz a jó hírhez, amelyet a Királyi Porosz Geodéziai Intézet vitathatatlanul élvez.

Kiemelkedő geodétának tartom *R. Schumann professzort* is, és örömmel ismerek fel tevékenységében olyan kérdések intézésére való hajlandóságot is, amelyek közelebb állanak a fizikához. Ékes bizonyítékai ennek a sarkmagasság ingadozásaival és az izosztáziával foglalkozó munkái. Geodétaként, még inkább fizikusként kiemelkedik még a sok professzor közül *Dr. J. E. Wiechert*, akit a Föld főként azért látszik érdekelní, mivel az a földi élet helye, és ő, mint a földélettan egyik megalapítója, minden, a földfelszín formáival, illetve a Föld belsejével kapcsolatos feladattal foglalkozik.

Végül, de nem utolsónak megemlítek még egy fiatalabbat, *Dr. W. Schweydar* professzor urat. Ő a felejtethetetlen Helmer irányításával nagyszerű iskolát járt végig. Mint azt a kir. Porosz Geodéziai Intézet közleményei mutatják, alig van olyasfajta geodéziai munka, amelyben részt ne venne, s amelyet mint munkatárs, vagy mint önálló kutató ne támogatna. Intézeti munkái mellett azonban igyekezett a maga munkaterületét kibővíteni, hogy a fizika határterületeihez kapcsolódjék. Benne olyan férfira ismerek, aki a geodézia fenséges feladatait, mint hű Helmer-tanítvány, folyvást szem előtt tartva, a fizika határterületeit is képes volt uralni, és aki mind a megfigyelési módszerek, mind a legnehezebb elméleti értékelések tekintetében felnőtt a feladatokhoz. A Föld elaszticitásáról szóló munkái ezen állításaimat eléggé alátámasztják.

Még több nevet felsorolni, majd egyetlen egyet javasolni közülük, elbizakodottság lenne részemről. Személyes motívumokat, mint a rangsor is, efféle beiktatásoknál többnyire figyelembe kell venni. Ennek megítélése nem az én feladatom, mégis engedtessek meg, hogy egy figyelmeztető tanáccsal fejezzem be. Az állás betöltésénél a fiatal kor ne hátrányként, hanem előnyként vételessék számításba, mivel „Ars longa, vita brevis”. Ez a régi mondás egy munkánál sem igazolódik be olyan meggyőzően, mint a geodéziánál, amely egy férfikort, sőt többet is igénybe vesz, hogy valamilyen eredményhez vezessen.

Többet nem tudok, és nem is szükséges a feltett kérdéssel kapcsolatban mondani, azonban öröm és megtiszteltetés volt számomra, hogy ennyit is elmondhattam. Csupán késedelmes válaszóért kell még elnézését kérnem. Hónapokig tartó betegség és nehéz operáció után az utóbbi hetekben nagy halom elintéznivalóval kellett megbirkóznom.

Fogadja, Kolléga Úr, legmélyebb tiszteletemet!

Készséges híve

Eötvös Loránd
Budapest, Esterházy u. 7.

Berlin, 1918. I. 31.

Igen tisztelt Kolléga Úr!

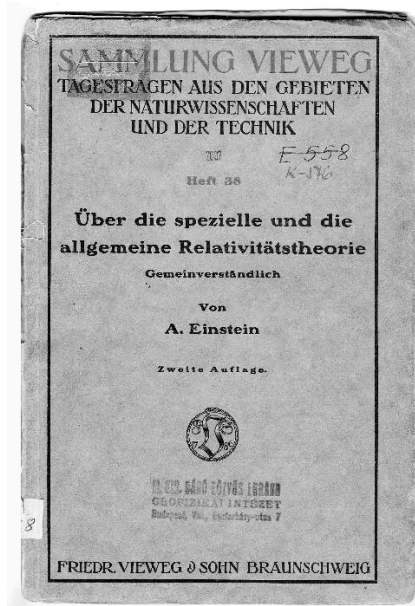
Szívből köszönöm Önnek kérdezőzködésekre adott fölötte felvilágosító és értékes válaszát. Meg fogom tenni a tőlem telhetőt, hogy azt meg is szívleljék. Mindenki tudja, hogy nekünk senkink sincsen, akinek ítéletében a szóban forgó fontos kérdésben oly nagyon megbízhatnánk, mint az Önében. Az ön levele nyomán számomra az tűnik a legszerencsésebb megoldásnak, ha Krüger az igazgató, Schweydar pedig lehetőleg önállóan dolgozik mellette; hogy a geofizika se rövidüljön meg.

Nem szeretném azonban ezt a levélváltást lezárni anélkül, hogy Önnek hálámat ne fejezzem ki azért az előrehaladásért, amelyet a súlyos és tehetetlen tömeg azonosságára vonatkozó ismeretünk az Ön kutatásai által elért. Az utóbbi években ennek a kérdésnek elméleti oldalával foglalkoztam, és bátorkodom egy kis könyvecskét küldeni Önnek, amelyből az elvi szempontok nagyobb időráfordítás nélkül kivehetők. A matematikai vonatkozás megtalálható egy 1916-os az Annalen der Physikben megjelent munkámban és a Német Akadémia folyóiratának néhány közleményében.

Betegségéből minél gyorsabb felépülést kívánva és értékes felvilágosítását ismételten köszönve,

maradok mélységes nagyrabecsüléssel odaadó híve

A. Einstein



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők és a szerkesztő hálás köszönetüket kívánják kifejezni minden szervezet, illetve egyén részére, amelyek ill. akik lehetővé tették ennek a könyvnek a megjelentetését. Elsősorban köszönet illeti a Magyar Tudományos Akadémiát és az Innovációs és Technológiai Minisztériumot a könyv előállítási költségeihez való nagyvonalú támogatásukért. Az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítvány²² felmérhetetlen súlyú munkát végez Eötvös Loránd tudományos örökségének kutatása és megőrzése terén. A több mint 30 évig elveszettnek hitt kézirat megtalálása és konzerválása terén tett erőfeszítéseik nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a kézirat, két korai, az Eötvös-inga ismertetését tartalmazó nyomtatvánnyal együtt felkerült az UNESCO kulturális világörökség listájára. Az Eötvös Loránd Tudományegyetemmel közösen anyagilag is támogatták, a kézirat restaurálását az Országos Széchényi Könyvtárban.

Személyes köszönet illeti Ephraim Fischbach és Samuel H. Aronson professzort akik javasolták a kézirat és a poszthumusz publikáció összehasonlítását; Szabó Zoltánt, aki megtalálta a kéziratot; Pályi Andrást, az ELGA elnökét, aki minden tekintetben támogatta a kötet megjelentetését; Unger Zoltánt, akinek az ötlete volt a kézirat UNESCO-hoz való felterjesztése; Késmárky Istvánt, a Magyar Geofizikusok Egyesületének akkori elnökét, az UNESCO-val való kapcsolatfelvételért és az adminisztráció sikeres véghezviteléért.

A szerkesztő különös hangsúllyal kívánja kiemelni Hector Clark és Tom Kilényi munkáját, akiknek köszönhető, hogy egyes, magyarról angolra fordított cikkek valóban angolul hangozzanak; továbbá mindazoknak, akik a grafikák előállításában segítségére voltak. Tillmamm Kubis professzort külön köszönet illeti a kézírásos német szöveg átiratának gondos átolvasásáért.

²² Az Eötvös Loránd Geofizikai Alapítványt (ELGA) az Eötvös Loránd Geofizikai Intézet alapította 1991-ben, az Intézet pedig abból a kutatócsoportból nőtt ki, amelyet Eötvös Loránd az 1907-ben elnyert állami támogatásra alapítva szervezett meg (az ELGI rövid története az Előszóban található). Az 1990-es évek közepétől – a nyersanyagkutatási és bányászati tevékenység csökkenése folytán – az ELGI számos átszervezésen esett át, minek következtében elvesztette nevét és munkatársainak nagy részét. Jelenleg az ELGA jelenti az utolsó bástyát az eötvösi örökség megőrzése terén. Hogy folytathassa munkáját, hálásan fogad minden anyagi támogatást a következő bankszámlára: (IBAN): HU98 1020 0892 3141 0618 0000 0000.